

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1162 June 2007

平成18年（2006年）千島列島の地震津波の観測結果

清水 勝義

佐々木 誠

永井 紀彦

独立行政法人 港湾空港技術研究所
Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 地震津波の概要と気象海象条件	4
3. 観測された津波波形の概要	5
3. 1 震源および津波波形観測点の位置	5
3. 2 津波波形観測機器の設置条件	5
3. 3 津波波形の抽出	7
3. 4 津波波形の読み取り方法	7
3. 5 観測された津波波形	8
3. 6 津波波形観測結果の概要	10
4. 観測港湾別の津波波形特性	14
4. 1 十勝港および大津漁港	14
4. 2 釜石港	18
4. 3 石巻港	22
4. 4 鹿島港	26
5. まとめ	30
6. おわりに	31
追記. 2007年1月13日千島列島東方の地震津波	31
参考文献	32
付録A 潮位変動除去前後の津波波形記録	34
付録B 津波波形（沖合波浪計）	35
付録C 津波波形（港内検潮所）	35
付録D 2007年津波の潮位変動除去前後の津波波形記録	36
付録E 2007年津波の津波波形（沖合波浪計）	36
付録F 2007年津波の津波波形（港内検潮所）	37
付録G 2007年津波のゼロアップクロス解析結果	37

Characteristic of the 2006 Chishima-Islands-off Earthquake Tsunami Profile

Katsuyoshi SHIMIZU*

Makoto SASAKI**

Toshihiko NAGAI***

Synopsis

The 2006 Chishima-Islands-off Earthquake was generated around 20:14 on November 15 in 2006 in Japanese standard time (JST). It was reported by the Japan Meteorological Agency (JMA) that the magnitude of the earthquake was 7.9, and the hypocenter was at off-Chishima-Islands Pacific side coast, with the latitude of N46.7° , the longitude of E154° and 30km deep under the seabed.

This note introduces the observed tsunami profiles by the offshore wave gauges and coastal tide gauges of the Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS (NOWPHAS).

Following results were obtained in this note.

- (1) Low frequency water surface elevation data at 55 stations, with 26 offshore wave gauges with their installed water depth 20 to 55m, and 29 coastal tide stations, were analyzed. Among them 10 offshore wave gauges and 13 coastal tide gauges clarified the tsunami profiles from the first tsunami wave arrival. 13 wave gages and 20 tide gauges observed tsunami induced water surface motion, although the first tsunami wave was not clear.
- (2) Tsunami induced water surface motion continued for long time during the next whole day, November 16 (JST). In addition, Maximum tsunami heights and deviations were observed several hours after the first tsunami wave arrival.
- (3) The Kushiro-off wave gauge firstly observed the tsunami arrival at 21:34 on November 15 (JST) among the observation stations.
- (4) At the 4 ports area, Tokachi, Kamaishi, Ishinomaki and Kashima ports, simultaneous tsunami profiles were obtained from the first tsunami wave at the offshore and coastal stations, and comparison of offshore tsunami profiles and coastal tide station data was conducted in wave-to-wave analysis bases and spectrum analysis bases. Tsunami amplification ratio between offshore station and coastal tide station varied due to seabed topography induced natural frequency difference. Such frequency spectrum response was obtained at those harbors.

In addition, this paper introduces the observed 2007 Chishima-Island-East-Off Earthquake Tsunami profiles as an Appendix, which occurred 13:23 on January 13, 2007(JST).

Key Words: 2006 Chishima-Islands-off Earthquake Tsunami, NOWPHAS, DWDM, Tsunami

* Head, Marine Information Div., Marine Environment and Engineering Department

** Member, Marine Information Div., Marine Environment and Engineering Department

***Director, Marine Environment and Engineering Department

Port and Airport Research Institute, Independent Administrative Institution 3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5048 Fax : +81-46-842-5246 e-mail: shimizu-k87s3@pari.go.jp

平成 18 年（2006 年）千島列島の地震津波の観測結果

清水勝義*
佐々木誠**
永井 紀彦***

要 旨

本資料は、ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）が捉えた平成 18 年（2006 年）千島列島の地震津波の観測沖合津波波形を、沿岸の港内検潮記録とともに、とりまとめたものである。本地震は、気象庁の発表によると、発生は日本時間 11 月 15 日 20:14、地震の揺れから算定されたマグニチュードは 7.9、震源は千島列島の太平洋側沖合の北緯 46 度 42.1 分、東経 154 度 2.8 分、深さ 30km とのことであった。

以下に本資料で明らかにされた内容を箇条書きで示す。

- (1) 沖合波浪計 26 観測点、港内検潮所 29 観測点における津波波計記録を収集整理し、津波波形の検出状を試みた。観測波形記録から津波の第 1 波を識別することができたのは、沖合波浪計としては 10 観測点（紋別南・釧路・十勝・苫小牧・青森・八戸・釜石・石巻・小名浜・鹿島）、港内検潮所としては 7 観測点（枝幸・霧多布・十勝・久慈・釜石・石巻・鹿島）であった。第 1 波は明確ではなかったが津波波形の識別はできた観測点は、沖合波浪計としては 13 観測点（石狩新港・留萌・波浮・下田・御前崎・潮岬・室津・高知・上川口・細島・中城湾・平良・石垣）、港内検潮所としては 20 観測点（瀬棚・岩内・小樽・石狩新港・留萌・羽幌・杓形・根室・浦河・苫小牧東・苫小牧西・白老・森・青森・下田・小松島・宮崎・志布志・中城湾・平良）であった。常時の長周期水位変動と津波波形を識別できなかった観測点は、沖合波浪計としては 3 観測点（瀬棚・神威脇・清水）、港内検潮所としては 2 観測点（江差・奥尻）であった。
- (2) 津波による海面の上下変動は、非常に長時間継続し、翌日（11 月 16 日）の終日にわたって、津波が継続した。多くの観測点で翌日（11 月 16 日）になってから、最大偏差や最大波高を観測した。
- (3) もっとも早く津波が到達したナウファス波浪観測点は、釧路港沖合の海象計であり、日本時間 11 月 15 日の 21:34 であった。
- (4) 最大偏差が 10cm を超えた観測点は、ナウファス沖合波浪計としては、第 1 波の偏差が 10cm を超えた紋別（南）、八戸、釜石の 3 観測点に加えて、釧路、十勝、石巻、小名浜、鹿島、下田、室津、上川口の 8 観測点を数え、ナウファス港内検潮所としては、第 1 波の偏差が 10cm を超えた枝幸、霧多布、十勝、久慈、釜石、石巻の 6 観測点に加え、石狩新港、留萌、羽幌、杓形、根室、浦河、苫小牧東、苫小牧西、白老、森、鹿島、下田、宮崎、志布志、平良の 15 観測点を数え、北海道沿岸から沖縄沿岸に至る広範な沿岸で顕著な津波偏差が見られた。
- (5) 沖合波浪計と港内検潮所の両観測点で第 1 波到達から津波を明確に検知できたのは、十勝、釜石、石巻、鹿島の 4 港であった。ゼロアップクロス法による個別波形解析を試みところ、津波の周期は、個別波毎に大きく異なり、1 時間を越える個別波から数分間の個別波まで、きわめて多様であり、多くの観測点で時間の経過と共に、津波周期が徐々に短くなった。また、スペクトル解析結果から、いずれの港湾でも、スペクトル形状は多峰型であり、周期 30 分以上の長周期成分は時間の経過とともに減衰傾向が見られたが、港湾周辺海底地形に伴うと考えられる相対的に周期の短い周波数におけるピークは減衰が遅かった。これは、ゼロアップクロス法による解析結果で見られた、時間の経過と共に、津波周期が徐々に短くなったのによく対応した結果であった。

なお、本資料のとりまとめ中であった日本時間 2007 年 1 月 13 日 13:23 に、千島列島東方の地震が発生し、津波高さは相対的に低かったものの、全国沿岸で津波波形が観測された。このため、本資料では、追記として、2007 年千島列島東方の地震津波波形記録に関しても、紹介することとした。

キーワード：平成 18 年千島列島の地震津波、ナウファス、海象計、津波

* 海洋・水工部海象情報研究室
** 海洋・水工部海象情報研究室
*** 海洋・水工部長
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5048 Fax：046-842-5246 e-mail：shimizu-k87s3@pari.go.jp

1. はじめに

日本時間 2006 年 11 月 15 日 20:14 に、津波を伴う海底に震源をもつ地震が千島列島沖で発生し、我が国沿岸の太平洋およびオホーツク海沿岸域で津波が観測された。

本稿は、ナウファスおよび沿岸検潮所が捉えた津浪波形観測記録をとりまとめたものであり、1993 年北海道南西沖地震津波¹⁾、1994 年北海道東方沖地震津波²⁾、1996 年イリアンジャヤ地震津波³⁾、2003 年十勝沖地震津波⁴⁾、2004 年東海道沖地震津波⁵⁾、2005 年宮城県沖の地震津波⁶⁾に続く、沖合および沿岸における津波観測資料である。

津波の波形は、波浪や潮位の観測データから解明される^{7), 8)}。かつての全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)システムは、概ね周期 30 秒以下の風波やうねりをターゲットとしていた。このため、ナウファスでは、2 時間毎に 20 分間だけ 0.5s 間隔で波浪観測情報を収集するシステムが構築されていた。(気象庁では 3 時間毎を標準としていた。)しかし、現実の海洋には、長周期波と呼ばれる、周期 30 秒を越える波浪成分が含まれており、係留船舶の長周期動揺や沿岸漂砂を支配する重要な外力となることが、次第に明らかにされてきた。海底地震によって発生する津波は、もっとも顕著な長周期波である。こうした津波などの長周期波を観測するためには、従来のデータ収集システムでは不十分であり、切れ目のない連続的なデータ収集と、長周期波の特性に応じた観測データの処理解析が必要となる。1993 年の北海道南西沖地震津波¹⁾を契機として、ナウファスでも切れ目のない連続的なデータ収集システムが構築されることとなった。これを以下では新システムと呼ぶ。こうしたシステムの実現運用によって、沖合津波波形記録の収集解析が可能になり、沿岸に襲撃する津波の特性解明に大きく貢献できるようになった^{9), 10), 11)}。

2003 年十勝沖地震来襲時には、北海道から東北地方沿岸の沖合 10 波浪観測点で、津波の詳細な波形を明らかにしている⁴⁾。また、2004 年東海道沖地震津波にあたっては、室戸岬沖 13km の水深 100m 地点に試験的に設置された GPS ブイ^{12), 13)}による大水深における観測記録を含めて、東海から四国沿岸にかけての津波波形の特性を明らかにしている⁵⁾。2005 年宮城県沖の地震津波来襲時には、久慈、釜石、大船渡、石巻および小名浜港沖のナウファス波浪計と港内検潮所の両方の記録が測得できたため、沖合から港内への津波の伝播・増幅特性が、明らかにされた。また、久慈港では、ナウファス新システム¹⁴⁾が、2005 年 4 月以降導入されていたため、沖合と

港内の毎分平均水面高情報を国土交通省港湾局の下記ウェブサイトからリアルタイム情報発信し、津波波形記録をリアルタイムで関係者および一般に情報提供することに、成功した事例でもあった⁶⁾。

(<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas>)

本報は、こうした既往の資料に継続するものであり、毎年定期的にとりまとめられている波浪観測年報¹⁵⁾や、5 年間毎を目途にとりまとめられている長期統計報¹⁶⁾とは別に、2006 年に発生した千島列島沖の地震に伴う津波に焦点を絞って、全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)によって観測された波浪観測記録や、沿岸潮位観測記録を、とりまとめたものである。

2. 地震津波の概要と気象海象条件

千島列島沖の地震は、日本時間 2006 年 11 月 15 日 20:14 に発生した¹⁷⁾。気象庁は、11 月 15 日の 22:00 に本地震に関する報道発表資料を公表し、翌 16 日 12:00 に資料の更新を再度発表し、きめ細かな地震津波情報をとりまとめている。また、米国気象海洋庁(NOAA)の太平洋津波警戒センター(<http://www.prh.noaa.gov>)からも、その web-site より本地震および津波観測結果が紹介されており、津波は、ハワイ諸島、アラスカを含む北米・中米・南米の太平洋沿岸で観測されたことが紹介されている。

11 月 16 日発表の気象庁の情報によれば、地震の揺れから算定されたマグニチュードは 7.9、震源は千島列島の太平洋側沖合の北緯 46 度 42.1 分、東経 154 度 2.8 分、深さ 30km とのことであった。他方、11 月 17 日発表の東京大学地震研究所の情報¹⁶⁾によれば、地震の揺れから算定されたマグニチュードは 8.3、推定断層規模から算定されたモーメントマグニチュードは 8.2 であると報告されている。

図-2.1 は、津波発生前後の、日本時間 11 月 15 日 18:00 と 16 日 18:00 の天気図を示したものである。地震発生当時は、台風は天気図上には見られなかったものの、前線を伴った低気圧が太平洋北東海上に位置しており、太平洋沿岸では若干の風浪が見られた模様である。図-2.2 は、11 月 15 日 20:00、すなわち 19:50 から 20:10 までの 20 分間のナウファス波浪観測結果に基づく沿岸波浪分布図を示したものである。オホーツク海に面した紋別南沖合における有義波高は 50cm 強であり、オホーツク海沿岸では比較的静穏な海況であったものの、太平洋沿岸の釧路、十勝、むつ小川原、釜石、相馬、小名浜、鹿島などでは、有義波高が 1-2m 程度であり、南に向かうほど波浪が高い状態となっていた。伊豆大島沖の波浮では有義波高は

3m に近い高波浪状態であった。反面、潮岬以西以南の太平洋沿岸のナウファス波浪観測点では、有義波高は概ね 1m 以下の比較的静穏な海況であった。

このように、オホーツク海および太平洋沿岸としては、極端な高波浪状態ではなく、波浪の状態としては通常時の平均的な海況であったため、沖合観測波形記録からの津波抽出を行う上で、大きな支障はなかった。

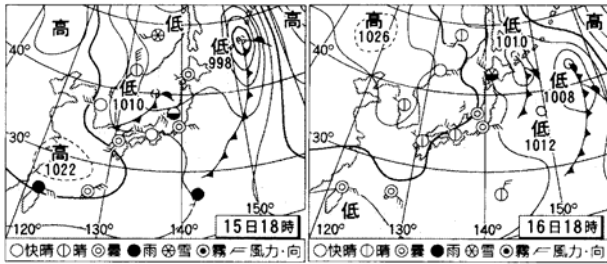


図-2.1 地震発生前後の天気図 (2006.11.15.18:00 および 11.16.18:00)

3. 観測された津波波形の概要

3.1 震源および津波波形観測点の位置

図-3.1 に、震源および観測点を示す。本報では、ナウファスによって港湾空港技術研究所にデータ収集された、以下に示す 26 の沖合波浪計および 29 の港内検潮器による観測波形記録を紹介することとした。

①沖合波浪観測点 (26)

瀬棚・神威脇・石狩新港・留萌・紋別南・釧路・十勝・苦小牧・青森・八戸・釜石・石巻・小名浜・鹿島・波浮・下田・清水・御前崎・潮岬・室津・高知・上川口・細島・中城湾・平良・石垣

②港内潮位観測点 (29)

江差・岩内・瀬棚・奥尻・石狩新港・小樽・羽幌・留萌・杓形・枝幸・根室・霧多布・十勝・苦小牧東・苦小牧西・白老・浦河・森・青森・久慈・釜石・石巻・鹿島・下田・小松島・宮崎・志布志・中城湾・平良

3.2 津波波形観測機器の設置条件

表-3.1 および表-3.2 は、それぞれ、沖合波浪観測点および港内潮位観測点における観測条件を表示したものであり、観測点の緯度・経度、波浪観測機器の設置水深および機種、潮位観測機器の機種などを表示している。

2006年11月15日20時における沿岸波浪分布

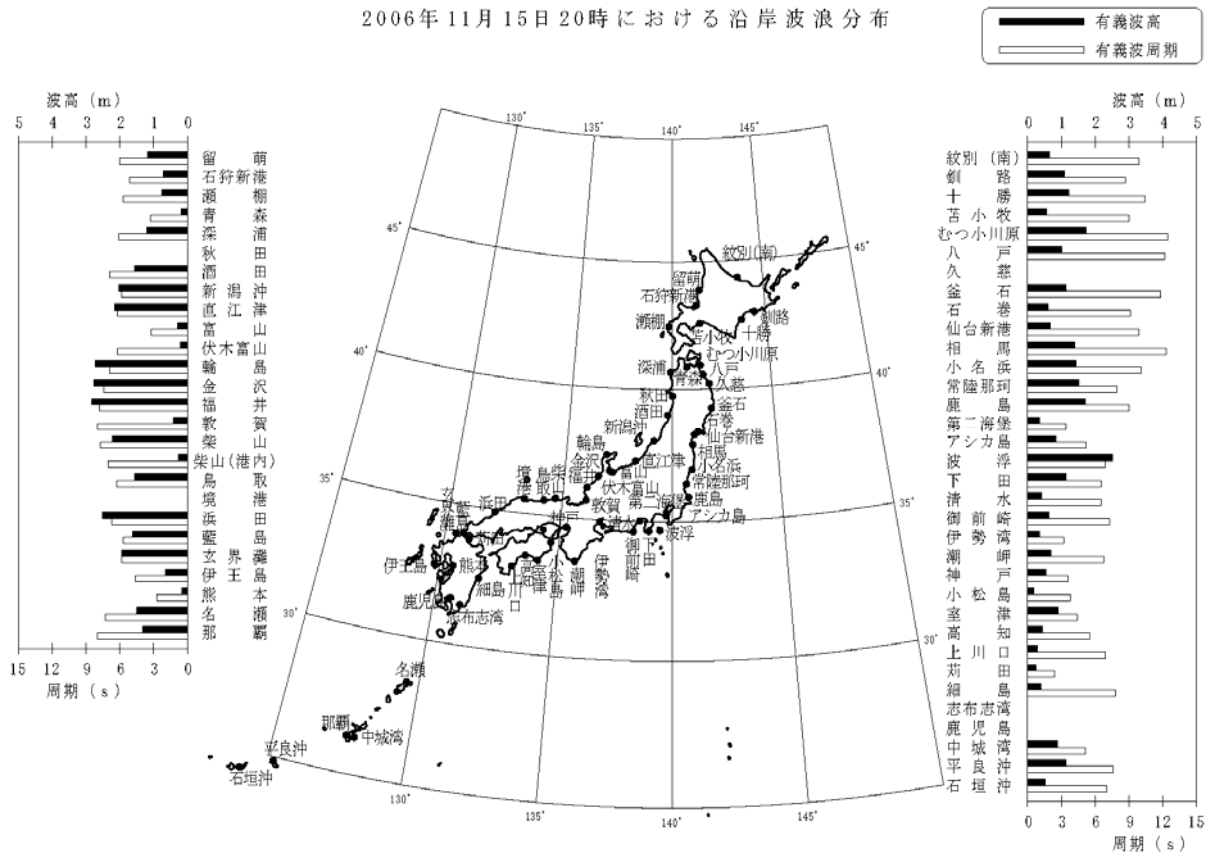


図-2.2 2006年11月15日20時における沿岸波浪分布

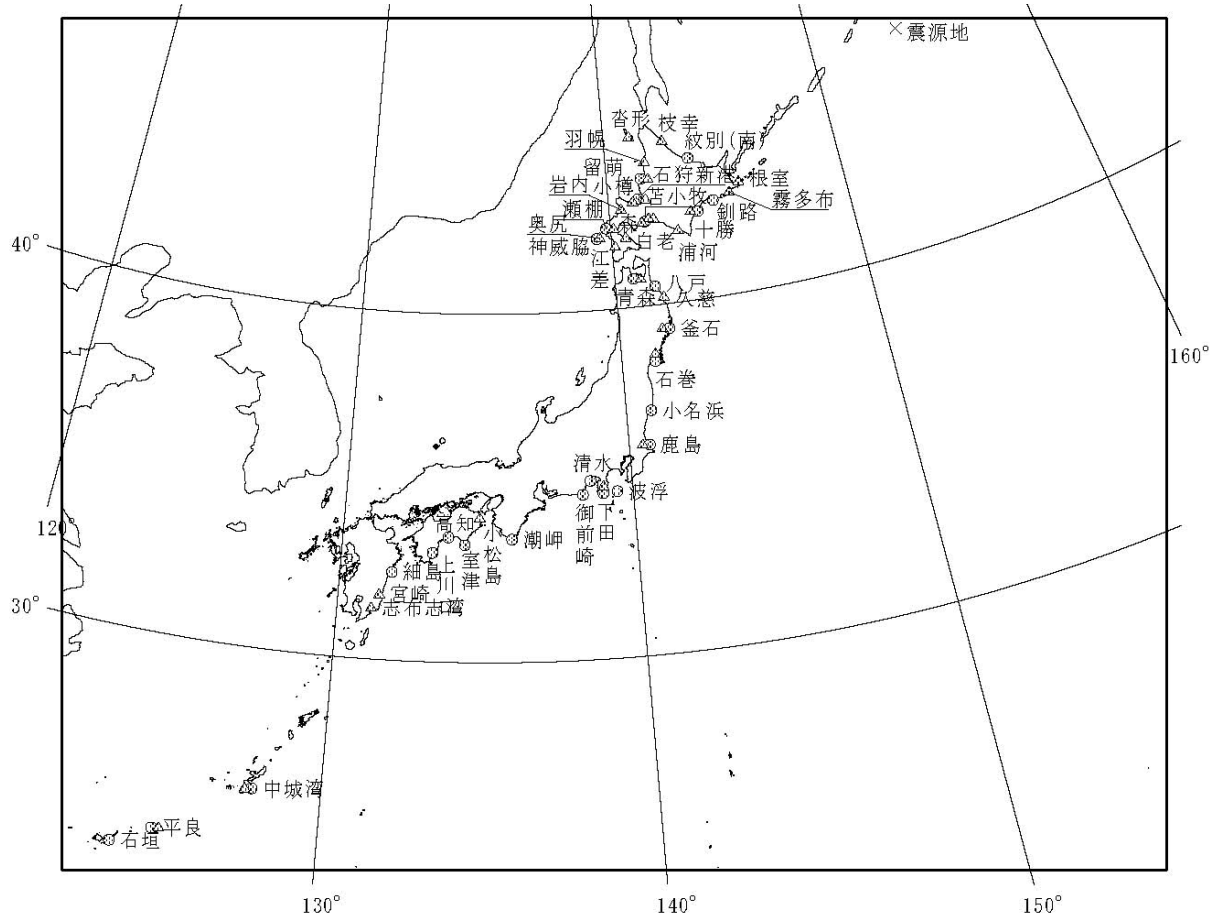


図-3.1 震源および沖合波浪計と港内潮位計の設置位置

表-3.1 沖合波浪観測点における観測条件

波浪観測地点	計器	緯度(北緯)	経度(東経)	水深(m)	所属機関
神威脇	海象計	42° 08' 58"	139° 24' 00"	23.0	北海道開発局
瀬棚	波高計・流速計	42° 26' 39"	139° 49' 03"	52.9	北海道開発局
石狩新港	海象計	43° 14' 55"	141° 16' 44"	22.4	北海道開発局
留萌	海象計	43° 51' 59"	141° 28' 07"	49.8	北海道開発局
紋別(南)	海象計	44° 19' 04"	143° 36' 25"	52.6	北海道開発局
釧路	海象計	42° 54' 38"	144° 23' 50"	50.1	北海道開発局
十勝港沖	海象計	42° 39' 06"	143° 41' 08"	23.0	北海道開発局
苫小牧港沖	海象計	42° 32' 39"	141° 26' 46"	50.7	北海道開発局
青森	波高計	40° 51' 00"	140° 44' 32"	21.8	東北地方整備局
八戸港沖	波高計・流速計	40° 33' 39"	141° 34' 06"	27.7	東北地方整備局
釜石港沖	波高計	39° 15' 54"	141° 56' 06"	49.8	東北地方整備局
石巻港沖	海象計	38° 20' 48"	141° 15' 19"	20.8	東北地方整備局
小名浜港沖	海象計	36° 55' 04"	140° 55' 18"	23.8	東北地方整備局
鹿島	波高計・流速計	35° 53' 55"	140° 45' 14"	24.0	関東地方整備局
波浮	波高計・流速計	34° 40' 35"	139° 27' 08"	48.3	関東地方整備局
下田	海象計	34° 38' 48"	138° 57' 11"	51.1	中部地方整備局
清水	海象計	35° 01' 16"	138° 32' 05"	51.8	中部地方整備局
御前崎	海象計	34° 37' 17"	138° 15' 33"	22.8	中部地方整備局
潮岬	海象計	33° 25' 59"	135° 44' 50"	54.7	近畿地方整備局
室津	海象計	33° 16' 18"	134° 08' 50"	27.7	四国地方整備局
高知	海象計	33° 28' 57"	133° 35' 13"	24.1	四国地方整備局
上川口	波高計・流速計	33° 01' 54"	133° 03' 29"	27.9	四国地方整備局
細島	海象計	32° 26' 36"	131° 43' 42"	48.3	九州地方整備局
中城	海象計	26° 14' 32"	127° 57' 55"	39.6	沖縄総合事務局
平良	海象計	24° 51' 39"	125° 14' 08"	44.1	沖縄総合事務局
石垣沖	海象計	24° 21' 55"	124° 06' 10"	39.8	沖縄総合事務局

表-3.2 港内潮位観測点における観測条件

潮位観測地点	計器	所在地			所属機関
		住所	緯度(北緯)	経度(東経)	
江差	フース	北海道檜山郡江差町字中歌町地先	41° 52' 14"	140° 07' 32"	北海道開発局
奥尻	フース	北海道奥尻郡奥尻町奥尻港港内	42° 10' 27"	139° 31' 05"	北海道開発局
瀬棚	フース	北海道瀬棚群瀬棚町字本町301	42° 27' 15"	139° 50' 43"	北海道開発局
岩内	フース	北海道岩内郡岩内町大和23-1	42° 59' 13"	140° 30' 37"	北海道開発局
小樽	フース	北海道小樽市築港2-2	43° 11' 00"	141° 02' 01"	北海道開発局
石狩新港	フース	北海道石狩市花岬	43° 12' 56"	141° 18' 26"	北海道開発局
留萌	フース	北海道留萌市大町	43° 57' 02"	141° 38' 06"	北海道開発局
羽幌	フース	北海道苫前群羽幌町港町1	44° 22' 09"	141° 42' 00"	北海道開発局
杓形	フース	北海道利尻群利尻町杓形字日の出町地先	45° 11' 22"	141° 08' 17"	北海道開発局
枝幸	フース	北海道枝幸町幸町	45° 56' 19"	142° 35' 21"	北海道開発局
根室	フース	北海道根室市琴平町	43° 20' 36"	145° 35' 04"	北海道開発局
霧多布	空中発射	北海道厚岸郡浜中町	43° 04' 43"	145° 06' 59"	北海道開発局
十勝	フース	北海道広尾郡広尾町会所前4丁目44地先	42° 17' 49"	143° 19' 20"	北海道開発局
浦川	フース	北海道浦河郡浦河町	42° 09' 51"	142° 46' 15"	海上保安庁
苫小牧東港	フース	北海道勇払郡厚真町字浜厚真35-1地先	42° 36' 21"	141° 49' 02"	北海道開発局
苫小牧西港	フース	北海道苫小牧市汐見町1-1-8	42° 37' 47"	141° 37' 16"	北海道開発局
白老	フース	北海道白老郡白老町字石山331	42° 31' 18"	141° 19' 14"	北海道開発局
森	空中発射	北海道茅部郡森町字港町46	42° 06' 36"	140° 35' 30"	北海道開発局
青森	フース	青森県青森市港町地先漁港内	40° 50' 10"	140° 45' 47"	東北地方整備局
久慈	フース	岩手県久慈市長内町第42地割10-11	40° 11' 32"	141° 47' 48"	東北地方整備局
釜石	フース	岩手県釜石市魚河岸町	39° 16' 24"	141° 53' 21"	海上保安庁
石巻	フース	宮城県多賀城市明月1-4-6	38° 24' 19"	141° 16' 14"	東北地方整備局
鹿島	フース	茨城県神栖町大字居切浜地先	35° 55' 46"	140° 41' 38"	関東地方整備局
下田	フース	静岡県下田市柿崎弁天島地先	34° 40' 49"	138° 56' 53"	中部地方整備局
小松島	フース	徳島県小松島市外開地先	34° 00' 33"	134° 35' 14"	気象庁
宮崎	フース	宮崎県宮崎市新別府町前浜地先	31° 54' 28"	131° 27' 23"	九州地方整備局
志布志湾	フース	鹿児島県曾於群志布志町帖	31° 28' 30"	131° 06' 32"	九州地方整備局
中城	フース	沖縄県沖縄市海邦町3-25	26° 19' 25"	127° 50' 24"	沖縄総合事務局
平良	フース	沖縄県宮古市平良西里7-21	24° 48' 30"	125° 16' 46"	沖縄総合事務局

沖合波浪観測点では、すべて、海底設置型超音波式波高計による観測結果である。このうち、神威脇・石狩新港・留萌・紋別南・釧路・十勝・苫小牧・石巻・小名浜・清水・御前崎・潮岬・室津・高知・細島・中城湾・平良・石垣の観測点では、海象計が導入されており、水中超音波のドップラー効果を応用した波浪の方向スペクトル観測が行われている観測点である^{19), 20), 21)}。港内潮位観測点は、大部分の観測点が検潮井戸内のフロートの上下変動を計測するフース型であったが、根室・霧多布および森では、空中発射型超音波式潮位計²²⁾であった。

本報で検討対象とした観測点は、ナウファスによって港湾空港技術研究所にデータ収集された観測点であり、北海道開発局や地方整備局の港湾空港部局によって管理観測されている波浪計や潮位計による観測データが大部分となっている。ただし、浦河港および釜石港の潮位計は海上保安庁の、小松島港の潮位計は気象庁の機器である。これらの観測点では、地方整備局等の港湾事務所と海上保安庁および気象庁との連携により、相互の観測情報をリアルタイムで共有するシステムが構築されている。

3.3 津波波形の抽出

沖合波浪計による観測波形記録には、周期の短い通常の波浪成分が含まれており、津波波形の抽出検知にあたっては、数値的にローパスフィルターをかけるデータ処理が必要である。ここでは、前報(文献6))で紹介した津波抽出数値フィルターを用いて、データ処理を行った。この数値フィルターは、フィルター長が±60s、カットオフ周期140sの数値フィルター(周期140sの透過率が50%のデジタルフィルター)である。津波波形の抽出は、5s間隔でサンプリングされたデータを、1分以下の欠測は直線補間し後に、津波抽出フィルターをとおり、潮位を含む60s間隔のデータを作成し、そのデータから、気象庁の潮位解析に採用されているカットオフ周期209分の数値ハイパスフィルター(周期209分の透過率が50%のデジタルフィルター)¹⁸⁾を採用し、潮位変動を除去した。

3.4 津波波形の読み取り方法

各観測点における観測波浪・潮位記録をもとに、津波到達時刻と第1波の水位の偏差(水位の天文潮位からの差)、最高偏差(水位の天文潮位からの差が最大の値)とその起時、ならびにゼロアップクロス法で定義した周期

の範囲を、図-3.2 示す例に従って整理した。津波到達時刻は、潮位記録から天文潮位と見なす成分を除いた、津波の影響と思われる水位変動がこの潮位をクロスした時刻として読み取った。

3. 5 観測された津波波形

巻末の付図A、BおよびCに、これらの全観測点における津波波形観測記録を紹介する。本津波は遠地で発生したものであるため、複雑なかつ複数の伝播経路を通過して我が国沿岸に到達したため、津波の初期波形の検知が困難である観測点が数多く見られた。また、我国沿岸では、多くの観測点では津波高さが小さかったため、津波以外の要因によって発生する、湾内の副振動などの長周期水位変動と津波との識別が困難な観測点も多かった。

このため、付図Aでは、津波発生前後の比較的長時間の波形記録、すなわち、日本時間で11月14日から18日までの5日間の記録全体を紹介し、各観測点ごとに津波の到達の有無の判定ができるようわかりやすく表示することを試みた。付図Aでは、掲載する観測点の順は、原則として、日本海沿岸を北上した後、オホーツク海沿岸を回り、太平洋沿岸を南進する、我国沿岸を時計回りに回る順で表示したが、同一港湾あるいは近傍海域で、沖合波浪計による観測記録と港内検潮記録が共に得られ

ている場合は、同一の用紙に示すよう、あわせて配慮した。

付図Aだけでは、横軸が縮小されすぎており、津波の周期特性がわかりにくいため、付図BおよびCとして、地震発生直前の11月15日20:00から翌16日の10:00までの14時間について、横軸を広げて表示した図を、あわせて添付する。ここに、付図Bは沖合波浪計における津波波形抽出記録を示し、付図Cは港内検潮所における津波波形抽出記録を示している。一般に、津波は、沿岸に近づき水深が浅くなるほど高さを増すため、観測される津波高は、沖合波浪計よりも港内検潮所の方が高くなるのが通常である。このため、付図Bの縦軸は±25cmスケールであるのに対して、付図Cの縦軸は±50cmスケールであり、縮率を変えて表示した。

付図BおよびCでは、各観測点毎に、津波到達時刻、第1波極大偏差観測時刻、全記録期間中の最大偏差観測時刻について、3つの黒色の逆三角形印で波形読み取り結果を示している。ただし、第1波を明確に定義できなかった場合は、黒色の逆三角形印は一つだけであり最大偏差観測時刻だけを示している観測点も多い。さらに、常時の長周期水位変動と津波との区別がつかなかった観測地点では、黒色の逆三角形印がなく、津波を識別できなかったことを意味している。

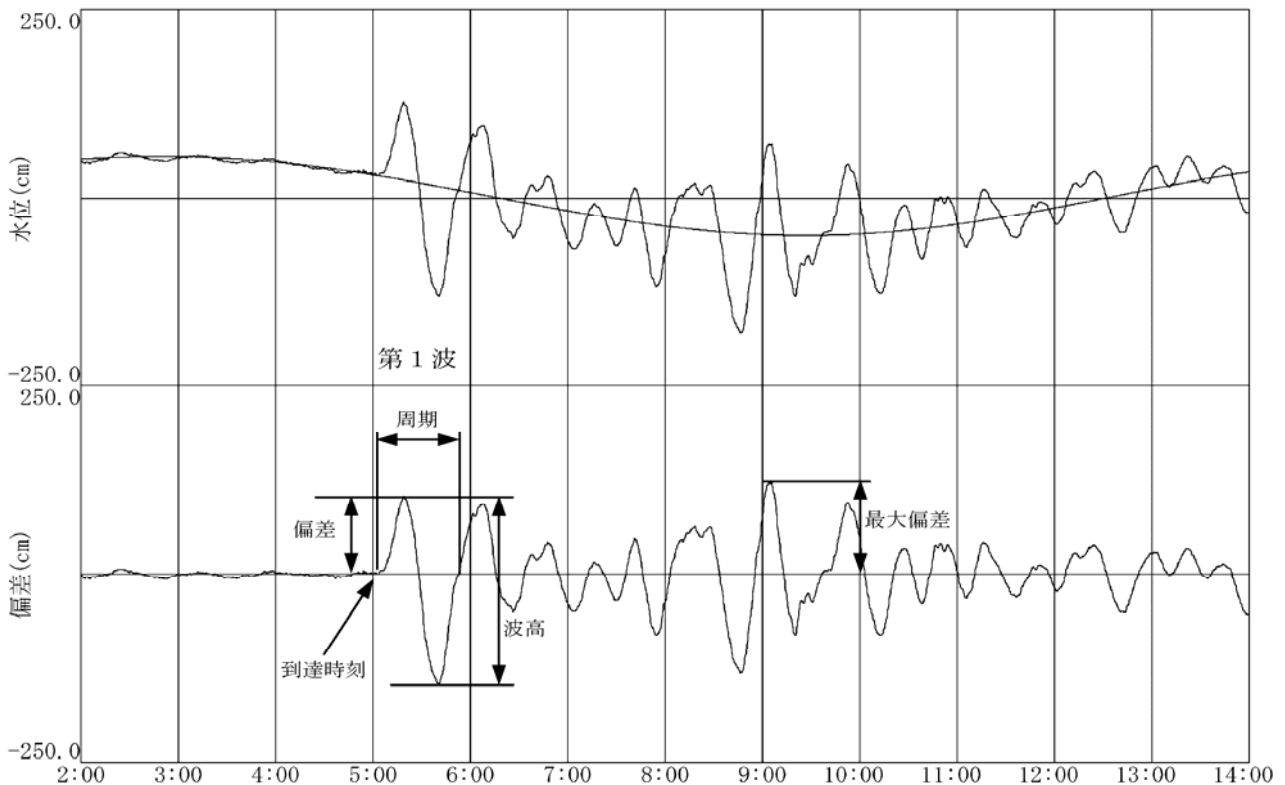


図-3.2 津波の波形記録の整理法

以下に、各観測点で測得された津波波形の概況を示す。

(1) 顕著な津波波形が観測された観測点

顕著な津波波形が観測された観測点であり、観測波形記録から津波の第1波を識別することができたのは、下記観測点であった。すなわち、沖合波浪計としては、下記の10観測点が挙げられた。

紋別南・釧路・十勝・苫小牧・青森・八戸・釜石・石巻・小名浜・鹿島

また、港内検潮所としては、下記の7観測点が挙げられた。

枝幸・霧多布・十勝・久慈・釜石・石巻・鹿島

これらのいずれの観測点に共通して、津波波形記録の継続時間はきわめて長く、翌日の11月16日においても、ほぼ終日にわたって津波による水位変動が観測され続けている。時間と共に津波波形、特に周期が、変化している現象も、ほとんどの観測点で見られる。

(2) 第1波は明確ではなかったが津波波形の識別はできた観測点

津波波形の識別はできたものの、常時の長周期水位変動と津波の第1波との明確な区分ができなかった観測点は、下記の通りである。すなわち、沖合波浪計としては、

表-3.3 ゼロアップクロス解析による津波の観測結果

観測地点		到達時刻	第1波		最大偏差波			最大波				港内/沖合増幅率		
港名	観測機器		偏差	時刻	No.	偏差(cm)	時刻	No.	波高(cm)	周期(分)	時刻	第1波偏差	最大偏差	最大波
瀬棚	フース	-	-	-	-	8.9	10:17	-	16.2	12	10:14			
岩内	フース	-	-	-	-	4.8	7:40	-	8.4	23	11:42			
小樽	フース	-	-	-	-	8.7	18:29	-	13.1	64	18:19			
石狩新港沖	海象計	-	-	-	-	4.1	16:32	-	9.2	58	14:59			
石狩新港	フース	-	-	-	-	11.8	14:03	-	16.6	17	8:26	-	2.88	1.80
留萌港沖	海象計	-	-	-	-	8.0	4:53	-	12.3	51	4:34			
留萌	フース	-	-	-	-	10.5	6:02	-	18.7	23	5:56			
羽幌	フース	-	-	-	-	19.5	9:05	-	34.8	15	5:06			
杵形	フース	-	-	-	-	12.4	5:41	-	23.7	9	5:38			
枝幸	フース	22:32	12.3	22:38	5	31.8	23:22	12	64.5	13	0:38			
紋別(南)港沖	海象計	22:15	11.8	22:30	1	11.8	22:30	38	16.5	63	6:28			
根室	フース	-	-	-	-	14.9	6:12	-	26.2	28	7:30			
霧多布	フース	21:39	19.3	21:49	12	33.1	2:30	26	61.6	31	4:38			
釧路港沖	海象計	21:34	8.9	21:46	25	11.3	3:59	25	19.9	23	3:55			
十勝港沖	海象計	21:49	8	21:58	17	18.1	4:46	10	38.4	60	2:15			
十勝	フース	21:55	27.9	22:07	8	41.8	0:56	13	70.9	33	3:13	3.49	2.31	1.85
浦河	フース	-	-	-	-	58.0	3:48	-	101.1	15	3:29			
苫小牧港沖	海象計	23:05	4.1	23:09	20	8.0	4:03	20	14.1	50	3:42			
苫小牧東	フース	-	-	-	-	18.5	16:24	-	40.3	21	7:57	-	2.31	2.86
苫小牧西	フース	-	-	-	-	17.5	7:34	-	34.8	20	7:33	-	2.19	2.47
白老	フース	-	-	-	-	25.0	8:58	-	45.5	12	8:44	-	3.13	3.23
森	フース	-	-	-	-	11.9	12:15	-	20.5	12	12:11			
青森港沖	波高計	22:13	4.6	22:30	24	6.9	8:30	28	11.6	82	10:08			
青森	フース	-	-	-	-	8.8	5:17	-	11.8	25	5:09	-	1.28	1.02
八戸港沖	波高計	22:09	10.4	22:22	17	25.8	3:03	17	40.1	26	2:53			
久慈	フース	22:05	19.4	22:14	41	87.4	8:11	20	138.9	12	3:27			
釜石港沖	波高計	21:54	10.3	22:08	22	13.3	3:45	12	24.0	16	2:00			
釜石	フース	21:57	14.4	22:14	10	23.9	2:00	13	49.5	28	2:45	1.40	1.80	2.06
石巻港沖	海象計	22:40	5.8	23:01	19	14.3	4:42	19	22.5	6	4:40			
石巻	フース	22:45	12.8	23:03	24	24.6	6:04	21	46.0	40	4:58	2.21	1.72	2.04
小名浜港沖	海象計	22:28	7.1	22:36	43	20.9	5:49	30	28.3	5	4:15			
鹿島港沖	波高計	22:30	8.5	22:38	17	17.1	3:55	13	29.5	21	3:02			
鹿島	フース	22:40	8.6	22:54	24	27.9	7:54	24	51.8	58	7:42	1.01	1.63	1.76
波浮港沖	波高計	-	-	-	-	8.2	4:26	-	14.2	6	6:26			
下田港沖	波高計	-	-	-	-	10.2	7:36	-	16.8	18	5:07			
下田	フース	-	-	-	-	38.7	8:00	-	68.2	15	4:00	-	3.79	4.06
御前崎港沖	海象計	-	-	-	-	9.1	5:38	-	15.4	10	7:32			
潮岬沖	海象計	-	-	-	-	7.2	6:56	-	12.2	10	6:38			
小松島	フース	-	-	-	-	7.9	5:12	-	13.8	32	5:05			
室津港沖	海象計	-	-	-	-	13.9	5:23	-	25.8	9	5:19			
高知港沖	海象計	-	-	-	-	9.3	10:26	-	16.1	16	6:43			
上川口港沖	波高計	-	-	-	-	14.3	5:37	-	22.9	9	5:07			
細島港沖	海象計	-	-	-	-	6.8	7:10	-	10.5	7	7:09			
宮崎	フース	-	-	-	-	25.2	8:55	-	44	28	13:51			
志布志湾	フース	-	-	-	-	23.2	15:18	-	45.2	10	8:22			
中城湾	海象計	-	-	-	-	7.8	9:38	-	11.1	6	9:41			
中城湾	フース	-	-	-	-	9.3	14:26	-	16.1	15	14:54	-	1.19	1.45
平良港沖	海象計	-	-	-	-	4.6	13:13	-	8.2	35	21:51			
平良	フース	-	-	-	-	11.2	13:09	-	23.5	10	6:19	-	2.43	2.87
石垣港沖	海象計	-	-	-	-	2.7	11:44	-	4.1	29	11:09			

下記の 13 観測点が挙げられた。

石狩新港・留萌・波浮・下田・御前崎・潮岬・室津・高知・上川口・細島・中城湾・平良・石垣

また、港内検潮所としては、下記の 20 観測点が挙げられた。

瀬棚・岩内・小樽・石狩新港・留萌・羽幌・杓形・根室・浦河・苫小牧東・苫小牧西・白老・森・青森・下田・小松島・宮崎・志布志・中城湾・平良

これらの各観測点では、津波の第 1 波は識別困難であったものの、時間の経過と共に津波が増幅され、津波到達推定時刻から数時間後には顕著な津波による水位変動が見られた。

(3) 津波波形を識別できなかった観測点

波形観測記録を収集・検討したものの、常時の長周期水位変動と津波波形を識別できなかった観測点波下記の通りである。すなわち、波形記録収集観測点中では、沖合波浪計としては、下記の 3 観測点が挙げられた。

瀬棚・神威脇・清水

また、港内検潮所としては、下記の 2 観測点が挙げられた。

江差・奥尻

3. 6 津波波形観測結果の概要

(1) とりまとめ図表について

表-3.3 に、付録 A、B および C でとりまとめた津波波形記録のゼロアップクロス法による読みとり結果を示す。津波到達時刻としては、第 1 波偏差と考えられる津波による水位上昇が開始された時刻を読みとった。ただし、津波による水位偏差が比較的小さかった観測点では、常時から存在する長周期水位変動と津波との区別が必ずしも容易でない場合も多かった。津波到達時刻の特定が困難であった場合は、到達時刻および第 1 波の欄を空白にしている。

津波の最大偏差や、ゼロアップクロス法で定義される津波の最大波高は、必ずしも第 1 波目で出現するとは限らない。このため表-3.3 では、文献 4)、5) および 6) と同様に、押し波の偏差が最大となった最大偏差波と、両振幅が最大となった最大波とを、それぞれ、津波到達後何波目の波であったかを含めて表示した。さらに、港内と沖合とともに津波が観測された港湾では、沖合観測値を基準とした港内の増幅比を、あわせて表示している。

図-3.3 から図-3.6 は、表-3.3 で整理された津波波形記録の読みとり結果を図示したものであり、第 1 波目から比較的明確に津波波形を識別できた各観測点におけるゼロアップクロス波形読みとり結果を時系列として示し

たものである。図-3.3 は、沖合波浪計によって観測された津波個別波毎の極大水位（偏差）の経時変化を示し、図-3.4 は、沖合波浪計によって観測された津波個別波毎の波高（両振幅）の経時変化を示す。図-3.5 は、港内検潮所で観測された、やはり津波個別波毎の極大水位（偏差）の経時変化を示し、図-3.6 は、港内検潮所で観測された、やはり津波個別波毎の波高（両振幅）の経時変化を示す。なお、図-3.3 および図-3.4 のとりまとめにあたっては、沖合波浪計として顕著な津波波形が観測された 10 観測点のうち、非常に周期の短い津波が観測された紋別（南）沖海象計、非常に周期の短い津波と周期の長い津波が混在した苫小牧沖海象計、津波高さが比較的小さかった青森沖超音波式波高計による観測結果は割愛した。また、図-3.5 および図-3.6 のとりまとめにあたっては、港内検潮所として顕著な津波波形が観測された 7 観測点に加え、第 1 波の判定は困難であったものの、翌日（11 月 16 日）の未明以降、顕著な津波を観測することができた南九州沿岸の宮崎港および志布志港における検潮記録もあわせて紹介している。

以下に、表-3.3 および図-3.3 から 3.6 までの読み取り結果の概要を示す。

(2) 津波到達時刻

表-3.3 中には、上記に述べた手法で、各観測点における津波の到達時刻と諸元を示している。

本津波は、遠地から来襲する津波であったため、伝播経路が複雑かつ多岐であったためだと推定されるが、津波波形到達時刻を明確に特定することは、多くの観測点で困難であった。また、津波による海面の上下変動はほとんどの観測点で非常に長時間継続し、翌日（11 月 16 日）の終日にわたって、津波が継続し、多くの観測点で翌日（11 月 16 日）になってから、最大偏差や最大波高を観測した。

本報では、津波の個別波解析にあたっては、ゼロアップクロス法をもとにとりまとめを行った。すなわち、表-3.3 で示される津波の到達時刻は、ゼロアップクロス法によって定義される第 1 波目の開始時刻（ゼロアップクロス時刻）である。

津波の到達時刻を比較すると、もっとも早く津波が到達した観測点は、釧路港沖合の海象計であり、日本時間 11 月 15 日の 21:34 となっている。この 5 分後に、近傍の霧多布検潮所で 21:39 に津波到達を観測した。また、十勝（大津漁港）沖の海象計では、その 15 分後の 21:49 に、十勝港内検潮所では 21:55 に、津波の第 1 波到達を観測

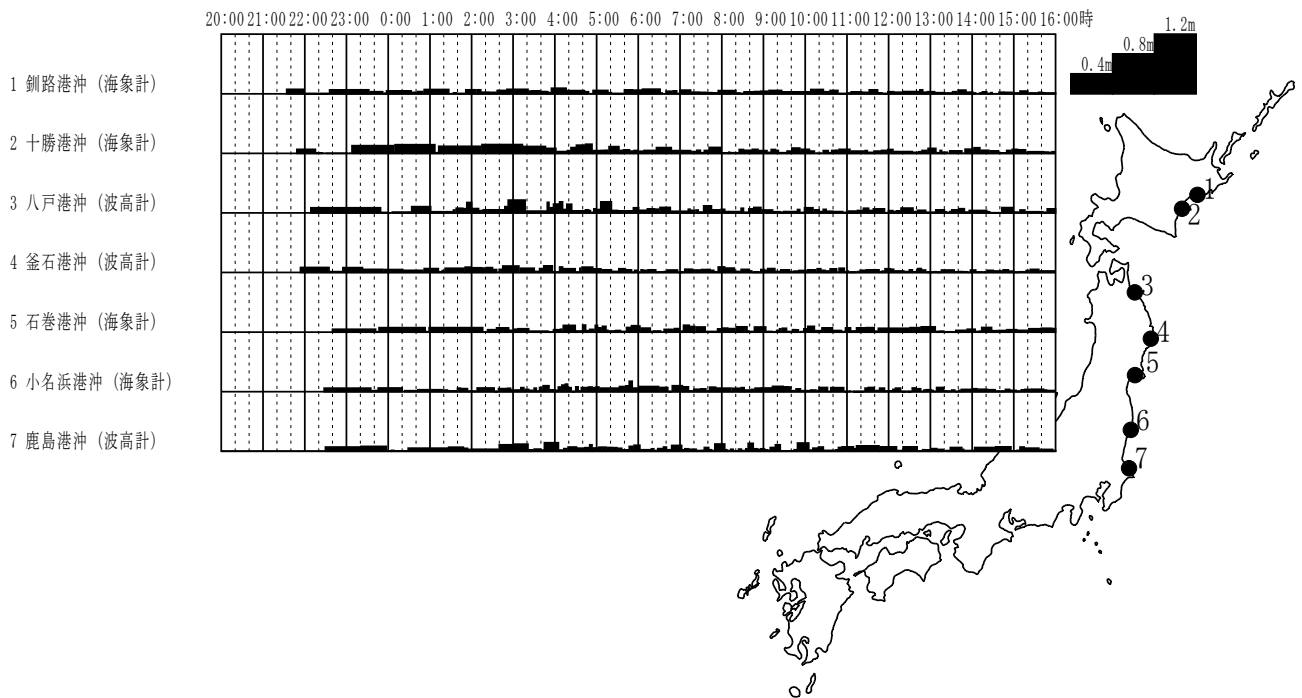


図-3.3 沖合津波偏差の個別波別経時変化

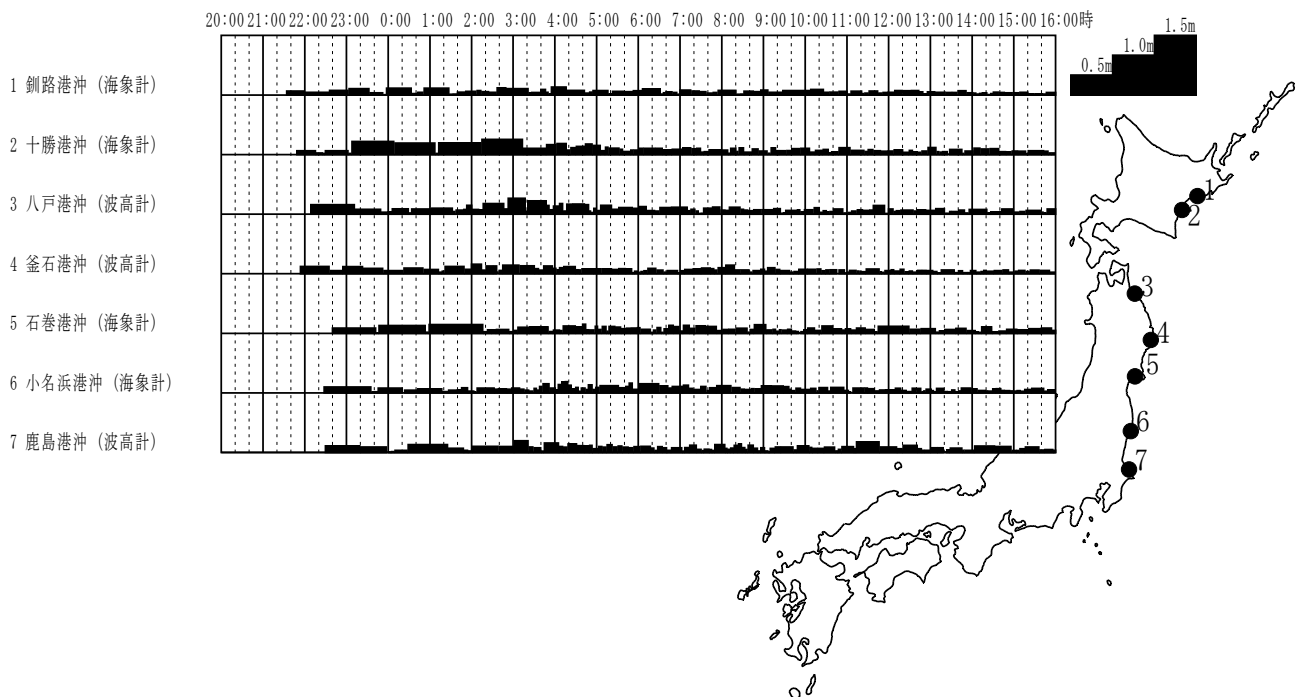


図-3.4 沖合津波高の個別波別経時変化

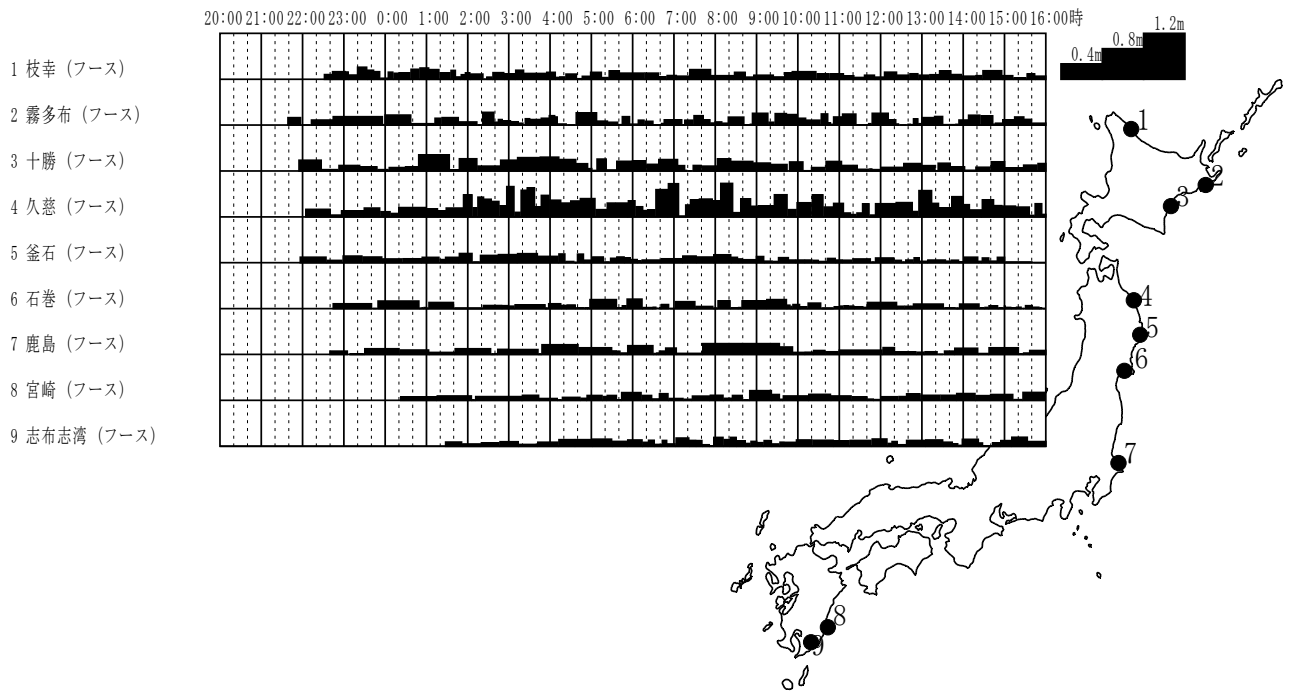


図-3.5 港内津波偏差の個別波別経時変化

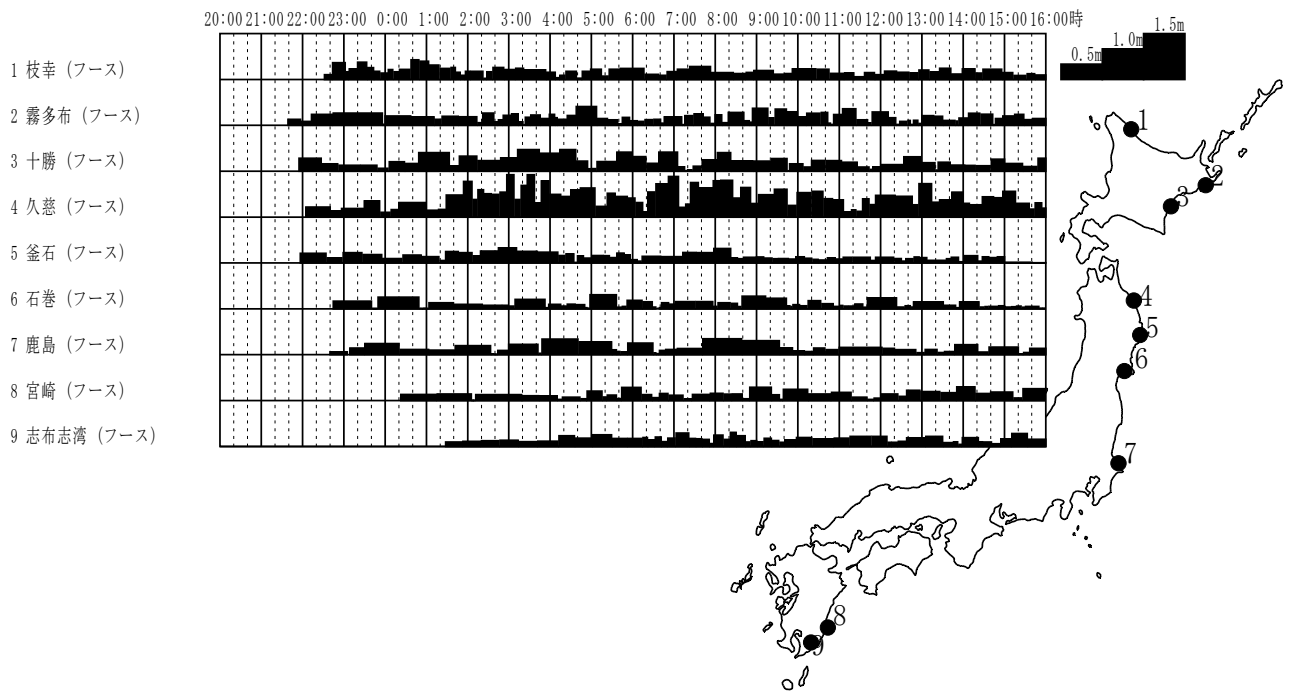


図-3.6 港内津波高の個別波別経時変化

しているが、これらの時刻は、気象庁による津波到達予測時刻と概ね一致したものであった。本州太平洋沿岸においても、釜石港沖合波高計では 21:54 に、釜石港内検は、津波がオホーツク海沿岸の紋別(南)沖海象計(22:15)や枝幸検潮所(22:32)に到達するよりかなり早かった。これは、津波の伝播速度は、水深が深いほど速いため、太平洋沿岸の海溝を伝播する津波は、千島列島をオホーツク海側へ回りこんで伝播した津波よりも、より伝播速度が速かったためである。

(3) 津波の第1波偏差

各観測地点では、津波到達後、数分～30分程度で、第1波の最大偏差を観測している。例えば、十勝港では、沖合海象計は 21:58 に偏差 8cm、港内検潮所では 22:07 に偏差 28cm であった。観測点毎に津波の周期は大きく異なり、このため到達時刻から第1波極大水位偏差までの時間差も観測点毎に大きく異なったのは、本津波は我国沿岸では比較的那の高さ(エネルギー)が小さく、常時見られる長周期水面変動と比べても極端に大きなものではなかったため、港湾毎の地形に伴う固有周期の影響が、津波波形の初期の段階から大きく影響したためであると考えられる。

第1波の偏差が 10cm を超えた観測点は、ナウファス沖合波浪計としては、紋別(南)、八戸、釜石の3観測点であり、ナウファス港内検潮所としては、枝幸、霧多布、十勝、久慈、釜石、石巻の6観測点であった。

(4) 津波の最大偏差および最大波高

津波の偏差は、第1波目が必ずしも最大とはならず、数波目の偏差が最大となる場合も多いことが、本津波の場合はこうした特性が極めて顕著であったことが実測データから改めて明らかになった。ナウファス観測地点では、第1波の偏差が最大であった観測点はなく、すべての観測点で、第1波到達後、数時間経過した後に、最大偏差を記録している。

最大偏差が 10cm を超えた観測点は、ナウファス沖合波浪計としては、第1波の偏差が 10cm を超えた紋別(南)、八戸、釜石の3観測点に加えて、釧路、十勝、石巻、小名浜、鹿島、下田、室津、上川口の8観測点を数え、ナウファス港内検潮所としては、第1波の偏差が 10cm を超えた枝幸、霧多布、十勝、久慈、釜石、石巻の6観測点に加え、石狩新港、留萌、羽幌、沓形、根室、浦河、苫小牧東、苫小牧西、白老、森、鹿島、下田、宮崎、志布志、平良の15観測点を数え、北海道沿岸から沖縄沿岸に至る広範な沿岸で顕著な津波偏差が見られた。

同様に、最大波高について見ても、沖合波浪観測点として第1波が最大波高となった観測点はなかった。

第1波が、必ずしも最大偏差・最大波高とならないのは、沿岸あるいは港湾周辺の海底地形の条件による、特定の周期成分の増幅(一種の共振現象)によるものと考えられる。こうした地形に伴う津波の変形は、同一港湾内の異なる場所で、津波の特性が異なっていることから示されている。同一港湾内の複数観測点を比較すると、苫小牧東、苫小牧西および白老の各検潮所における最大偏差は、それぞれ、18.5cm(16日16:24)、17.5cm(16日7:34)、25.0cm(16日8:58)、最大波高は、それぞれ、40.3cm(16日7:57)、34.8cm(16日7:33)、45.5cm(16日8:44)であり、発生時刻および津波高は、大きく異なっていた。

(5) 沖合から港内への津波の伝播・増幅

石狩新港、十勝、苫小牧、青森、釜石、石巻、鹿島、下田、中城湾および平良の各港湾では、沖合波浪連続観測と港内検潮観測を同時に行っていたため、沖合から港内への津波の伝播変形特性を示す重要な観測記録が得られている。これらの港湾の中で、沖合波浪計と港内検潮所の両観測点で第1波到達から津波を明確に検知できたのは、十勝、釜石、石巻、鹿島の4港であった。

表-3.3に再度注目すると、十勝港の場合、沖合海象計は、港内検潮所に比較して、到達時刻としては6分前に、第1波最大偏差時刻としては9分前に、津浪波形を観測していた。こうした、沖合波浪計は港内検潮所よりも早く津波を捉える事象は、2003年十勝沖地震津波の際にも確認されているが、この時の十勝港での時間差は、到達時刻としては5分前、第1波最大偏差時刻としては10分前であったので、津波の規模や形状は大きく異なるものの、沖合海象計と港内検潮所との津波検知時間差としては、ほぼ同じ値であったことが注目される。これは、津波の伝播速度は水深のみによって決まるためである⁴⁾。

同様に、釜石港でも、沖合波高計は、港内検潮所に比較して、到達時刻としては3分前に、第1波最大偏差時刻としては6分前に、津浪波形を観測していた。2003年十勝沖地震津波の際には、釜石港での時間差は、到達時刻としては4分前、第1波最大偏差時刻としては2分前であった。

同時に、沖合から港内にかけて津波は増幅されることも、表-3.3は示している。

第1波の偏差の増幅に注目すると、十勝港では沖合で 8.0cm だった第1波偏差が港内では 27.9cm へと 3.49 倍に

増幅されていた。2003 年十勝沖地震津波の際の増幅は、100cm から 250cm への 2.5 倍の増幅であり、増幅率が完全に一致したわけではないが、ほぼ同様の増幅事象を確認することができた。同様に、釜石港では、沖合で 10.3cm だった第 1 波偏差が港内では 14.4cm へと 1.40 倍に増幅されていた。2003 年十勝沖地震津波の際の増幅は、25.2cm から 42.1cm への 1.67 倍の増幅であり、やはり、2003 年十勝沖地震津波の際と、ほぼ同様の増幅事象を確認することができた。

4. 観測港湾別の津波波形特性

本章では、十勝港、釜石港、石巻港および鹿島港といった、沖合波浪計と港内検潮所との同時津波波形観測が行われた観測点に注目して、より詳しく、観測津波波形の特性をとりまとめる。

4. 1 十勝港および大津漁港

(1) 観測の概要

北海道開発局は、大津漁港沖合の水深 23m 地点に海象計を設置し、ナウファスの一環としての沖波の連続観測

を実施している。同時に、十勝港港内では潮位観測を実施している。なお、本節における解析手法は、3 年前の十勝沖地震津波に対する解析手法に準拠した⁴⁾。なお、大津漁港と十勝港とは 40km ほど離れた位置となっているが、この周辺海岸は平行等深線形状となっている。本津波は、遠地から伝播した津波であるため、屈折の影響によって、等深線直角方向に津波は来襲したものと推測される。このため、津波の波峰線は等深線平行方向に連なっていたものと推定されるので、ここでは、大津漁港沖の海象計は、十勝沖の同程度の水深位置における観測結果と同じであると仮定して、以下のとりまとめを試みた。

(2) ゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめ

表-4.1.1 および表-4.1.2 は、それぞれ沖合および港内におけるゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめを、はじめの 30 個別波について整理した結果である。表中には、ゼロアップクロス解析によって定義されるはじめの 30 の個別波について、下記を表示したものである。

表-4.1.1 沖合の個別波解析一覧表(十勝：海象計)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	21:49	8.0	21:58	-1.3	22:16	9.3	28
2	22:17	1.0	22:17	-3.2	22:20	4.2	10
3	22:27	0.3	22:27	-2.6	22:28	2.9	3
4	22:30	0.0	22:30	-9.4	22:47	9.5	34
5	23:04	0.3	23:04	-2.8	23:05	3.0	4
6	23:08	15.7	23:28	-17.1	23:49	32.8	62
7	00:10	17.3	00:23	-11.9	00:51	29.2	59
8	01:09	1.3	01:09	-1.8	01:11	3.1	4
9	01:13	14.1	01:29	-15.8	01:55	29.8	62
10	02:15	17.8	02:34	-20.6	02:59	38.4	60
11	03:15	13.7	03:23	-1.9	03:47	15.7	33
12	03:48	10.1	03:50	-14.9	03:59	25.0	15
13	04:03	3.5	04:04	-24.6	04:08	28.1	15
14	04:18	5.3	04:18	-5.9	04:21	11.2	5
15	04:23	11.4	04:24	-5.8	04:30	17.2	8
16	04:31	16.3	04:34	-4.4	04:43	20.7	13
17	04:44	18.1	04:46	-8.5	04:53	26.7	11
18	04:55	5.2	04:56	-17.8	05:05	23.0	12
19	05:07	5.6	05:08	-4.2	05:09	9.8	6
20	05:13	6.4	05:14	-11.8	05:16	18.2	5
21	05:18	13.6	05:25	-2.5	05:32	16.2	16
22	05:34	6.0	05:36	-7.4	05:38	13.4	5
23	05:39	7.3	05:43	-0.8	05:41	8.1	10
24	05:49	4.4	05:50	-6.8	05:53	11.2	5
25	05:54	5.6	05:58	-5.7	06:00	11.3	7
26	06:01	4.0	06:02	-11.5	06:06	15.6	7
27	06:08	5.9	06:09	-9.6	06:14	15.5	18
28	06:26	11.4	06:31	-4.1	06:34	15.5	10
29	06:36	11.4	06:38	-0.2	06:48	11.5	13
30	06:49	5.2	06:56	-8.1	07:02	13.4	15

表-4.1.2 港内の個別波解析一覧表(十勝：フース)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	21:55	27.9	22:07	-14.5	22:23	42.5	34
2	22:29	3.8	22:34	-20.8	22:45	24.6	24
3	22:53	14.4	23:05	-5.3	23:20	19.7	32
4	23:25	10.6	23:35	-8.6	23:42	19.2	25
5	23:50	3.7	23:56	-5.5	00:00	9.2	16
6	00:06	8.6	00:10	-22.1	00:23	30.7	24
7	00:30	10.4	00:34	-14.7	00:45	25.1	19
8	00:49	41.8	00:56	-18.8	01:10	60.6	46
9	01:35	2.9	01:36	-14.3	01:43	17.2	13
10	01:48	32.0	01:54	-17.4	02:08	49.4	27
11	02:15	12.8	02:19	-21.6	02:43	34.4	33
12	02:48	28.0	02:55	-15.6	03:10	43.5	25
13	03:13	35.2	03:19	-35.7	03:33	70.9	33
14	03:46	35.9	03:59	-23.1	04:08	59.0	28
15	04:14	30.0	04:18	-40.5	04:32	70.5	25
16	04:39	18.8	04:43	-14.4	04:52	33.2	17
17	04:56	5.8	04:59	-2.2	05:01	7.9	6
18	05:02	1.5	05:02	-6.8	05:06	8.3	6
19	05:08	31.1	05:14	-0.5	05:22	31.6	15
20	05:23	2.2	05:23	-29.7	05:33	31.9	14
21	05:37	25.3	05:42	-36.7	05:53	62.0	23
22	06:00	26.5	06:03	-21.8	06:16	48.2	21
23	06:21	17.2	06:24	-8.7	06:35	25.9	17
24	06:38	29.8	06:44	-32.6	06:57	62.4	29
25	07:07	13.7	07:12	-0.3	07:16	14.1	10
26	07:17	1.3	07:18	-0.3	07:19	1.6	3
27	07:20	0.2	07:20	-4.2	07:21	4.5	8
28	07:28	14.2	07:32	-2.4	07:39	16.6	13
29	07:41	12.6	07:43	-24.8	07:57	37.4	22
30	08:03	31.4	08:07	-29.4	08:19	60.9	21

- ①個別波の番号（何波目であるかを示す）
- ②当該個別波の開始時（はじめのゼロアップクロス時刻：JST）
- ③当該個別波の最大偏差（cm 単位）
- ④当該個別波の最大偏差発生時刻（JST）
- ⑤当該個別波の最小偏差（cm 単位）
- ⑥当該個別波の最小偏差発生時刻（JST）
- ⑦当該個別波の津波波高（③と⑤の差，cm 単位）
- ⑧当該個別波の津波周期（分単位）

表-4.1.1 の沖合における読み取り結果を見ると、第1波の津波到達は 21:49 であったにもかかわらず、正の最大偏差は、翌 11 月 16 日の 4:44 に第 17 波目で 18.1cm を記録しており、第 1 波来襲後 7 時間後に最大偏差が発生していることがわかる。両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、翌 11 月 16 日の 2:15 に始まる第 10 波目の個別波波高が 38.4cm の最大値となっており、津波の継続時間はきわめて長かったことが理解できる。津波の周期は、個別波毎に大きく異なり、数分周期の個別波から 1 時間を超える周期の個別波まで、きわめて多様であった。

同様の特性は、港内検潮記録にも見られ、正の最大偏差は、翌 11 月 16 日の 0:56 に第 8 波目で 41.8cm を記録しており、両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、同じ個別波で波高が 60.6cm の最大値となっている。津波の周期はやはり多様であったが、最大の周期は同じ第 8 波目の 46 分であり、沖合で見られた 1 時間以上の周期を持つ個別波は観測されなかった。

このように多様な周期の個別波が見られたのは、津波波形がさまざまな周期成分の組み合わせとなっているためである。このため、以下に述べる周波数スペクトル解析を実施した。

（3）津波波形記録の周波数スペクトル

図-4.1.1 および図-4.1.2 は、それぞれ沖合および港内における周波数スペクトルを示したものである。周波数スペクトルの計算にあたっては、津波抽出数値フィルター⁶⁾によって津波成分を抽出した波形記録について、沖合海象計が津波を検知した 21:49 を初期時点として、30 秒間隔で 2048 の 17 時間 4 分間のデータをサンプリングした結果を用いた。このデータでスペクトルとして計算できる周波数の範囲は $1.6 \times 10^{-5} \text{ Hz} \sim 0.017 \text{ Hz}$ である。

さらに、津波波形が時間とともに変遷する状況を確認するため、検討対象時間内の前半の 1024 データ（8 時間 32 分間）に対するスペクトル解析結果と、後半の 1024

データ（8 時間 32 分間）に対するスペクトル解析結果とをあわせて示し、その結果を比較した。

図-4.1.1 の沖合波形記録を見ると、0.00025Hz（周期 1 時間 10 分程度）に顕著なピークが見られ、本津波は周期 1 時間程度のきわめて長周期成分が卓越していたことがわかる。ただし、この周期 1 時間程度の長周期のピークは、後半になると前半にくらべてかなり減衰している。他方、0.001Hz（周期約 17 分程度）よりも高周波成分にも複数のピークが見られ、こうした高周波成分のエネルギーが、ゼロアップクロス解析で見られた周期数分以下の短い個別波となっていたことも、同時に理解できる。こうした高周波成分のピークは、前半から後半にかけて、ほとんど減衰がみられず、むしろ若干増幅されていた。このため、ゼロアップクロス法で定義される周期は、表-4.1.1 で見られたように、翌日の 11 月 16 日の未明以降、次第に短くなっていったものであると思われる。

図-4.1.2 の港内検潮記録を見ても、やはり、0.00025Hz（周期 1 時間 10 分程度）に顕著なピークが見られ、本津波は周期 1 時間程度のきわめて長周期成分が卓越していたことがわかるが、やはりこのピークは前半から後半にかけて大きく減衰した。同時に、沖合では見られなかった 0.0006Hz（周期 30 分程度）および 0.00085Hz（周期 20 分程度）に、0.00025Hz（周期 1 時間 10 分程度）よりも強いピークが見られたのが特徴的である。この二つのピークは、後半の時間帯でも前半に比べてほとんど減衰していないので、沖合から港内にかけての津波の増幅変形によるものであり、十勝港海域における津波の共振増幅であると推測される。このため、11 月 16 日の未明以降、0.00025Hz（周期 1 時間 10 分程度）の顕著なピークが減衰した後は、沖合よりも港内の方が、ゼロアップクロス周期が、若干、長くなっている。

（4）沖合から港内へのスペクトル応答

図-4.1.3 は、沖合と港内の水面変動のスペクトル応答を示したものである。3 枚の図を横に並べているが、右から順に、21:49 を初期時点として、30 秒間隔で 2048 の 17 時間 4 分間のデータをサンプリングした結果（以後、全体と呼ぶ）、検討対象時間内の前半の 1024 データ（8 時間 32 分間）に対するスペクトル解析結果（以後、前半と呼ぶ）、後半の 1024 データ（8 時間 32 分間）に対するスペクトル解析結果（以後、後半と呼ぶ）を、それぞれ示している。上段の図は、沖合および港内の周波数スペクトルを重ね書きしたものであり、下段の図は、両者の比を応答関数として対数軸で示したものである。

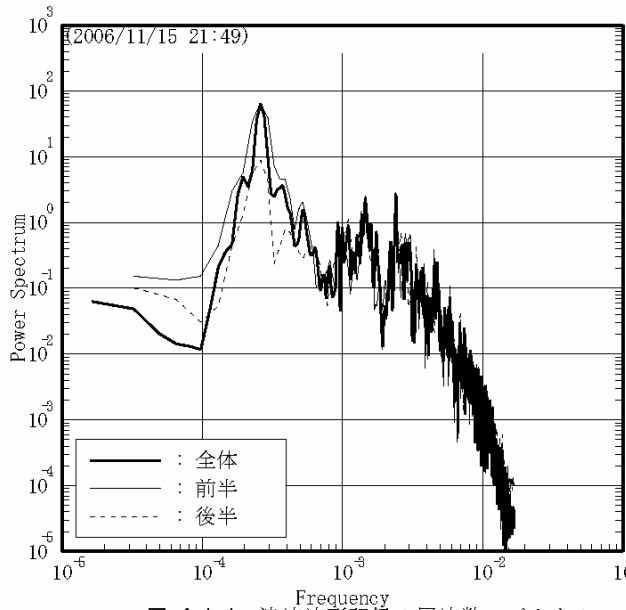


図-4.1.1 津波波形記録の周波数スペクトル
(十勝：海象計)

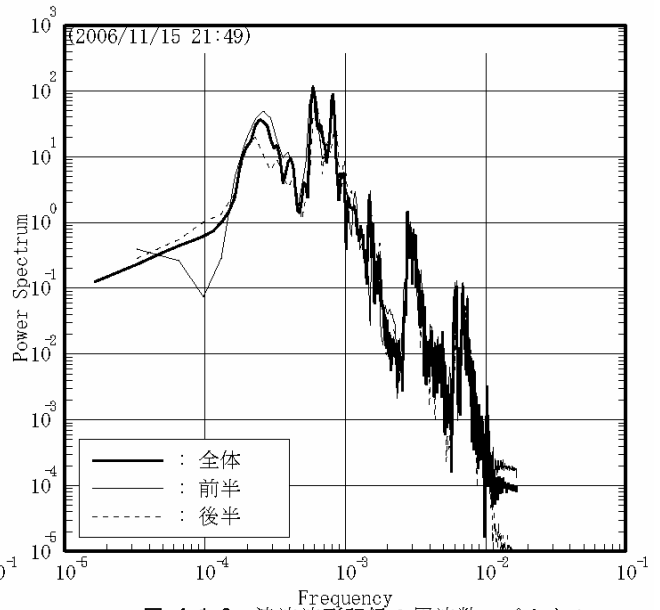


図-4.1.2 津波波形記録の周波数スペクトル
(十勝：ブース)

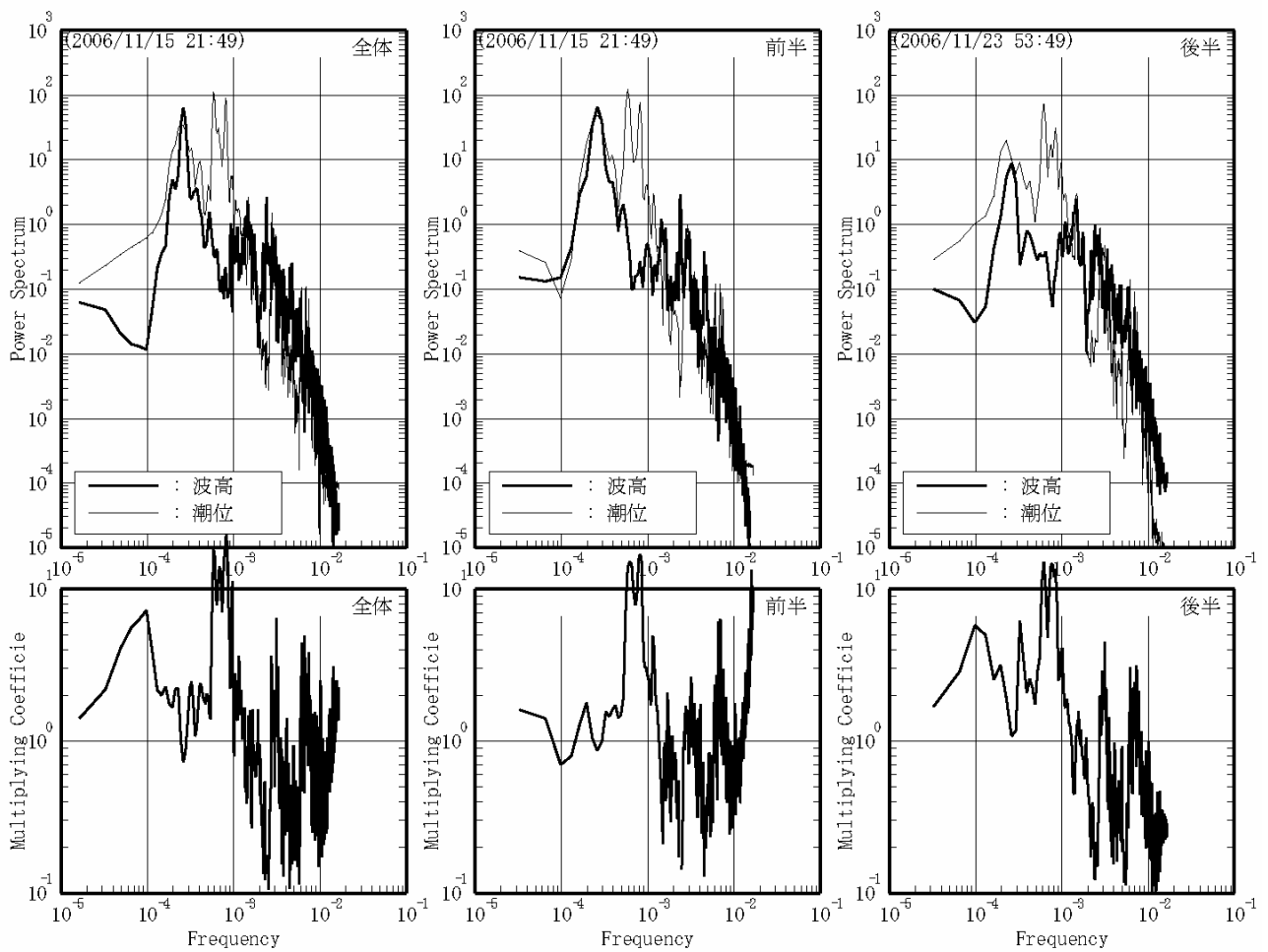


図-4.1.3 沖合から港内への水位変動の応答 (十勝)

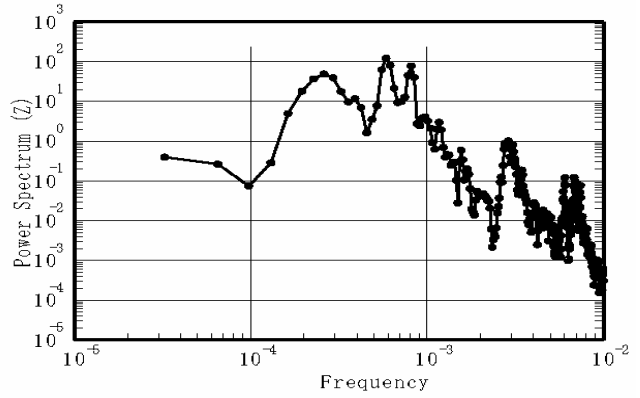
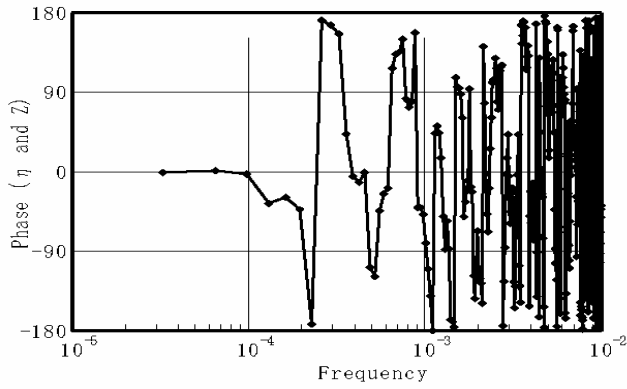
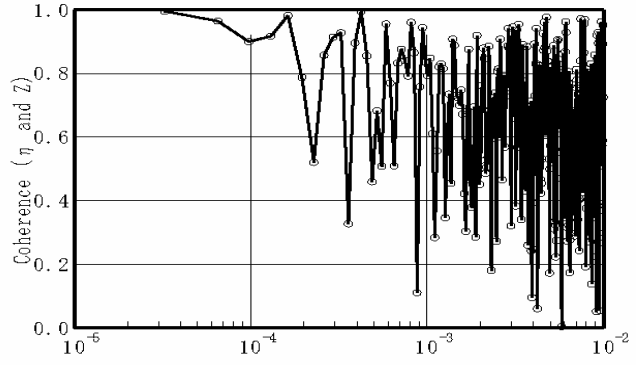
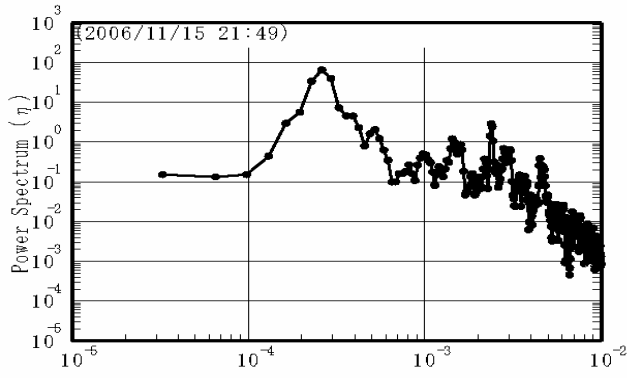


図-4.1.4 沖合と港内とのスペクトル相関 (十勝：前半)

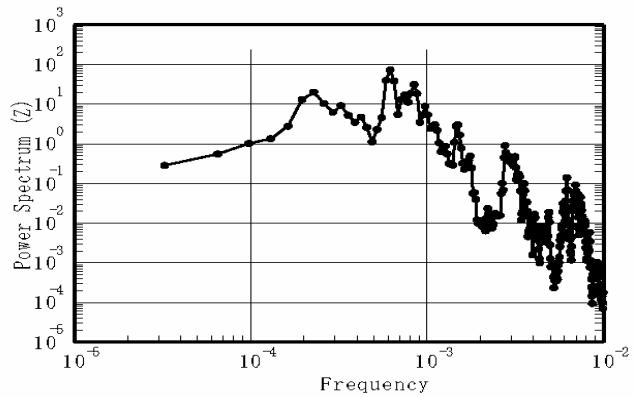
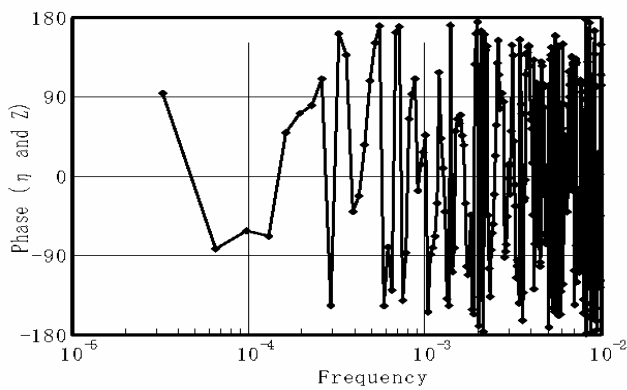
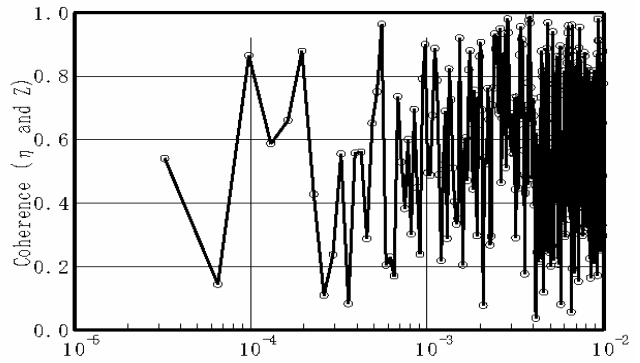
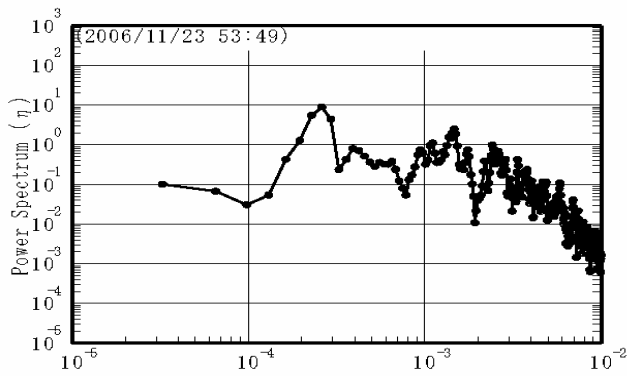


図-4.1.5 沖合と港内とのスペクトル相関 (十勝：後半)

下段の3枚の図に注目すると、全体、前半および後半に共通して、ほとんどすべての周波数帯で、港内の津波パワーは沖合よりも強く、沖合から港内に伝播する過程で津波が増幅されている状況がよく理解できる。

しかしながら、周波数毎に見ると、その応答比は大きな特徴をもっている。すなわち、本津波のパワーの多くを占める周波数帯に注目すると、0.00065Hz（周期約30分）から0.00085Hz（周期約20分）の範囲で顕著な増幅のピークが見られる。本津波のパワーの多くを占める周波数帯は、0.00015Hz（周期約1時間50分）から0.004Hz（周期約4分）の間であるが、こうした特徴をもつ周波数応答関数の形状は、この周波数帯に関しては、前半と後半で、ほとんど変化していない。また、2003年十勝沖地震津波の際にも、同様の周波数応答関数が確認されており⁴⁾、港湾形状や海底地形による十勝港周辺の固有周期が20分から30分程度であることが改めて確認された。

(5) 沖合と港内とのスペクトル相関

図-4.1.4と図-4.1.5は、それぞれ、前半および後半における沖合と港内との水位変動のスペクトル相関を示したものである。左上および右下の図は、それぞれ、沖合および港内の周波数スペクトルを示し、右上の図に両者のコヒーレンス（相関の強さ）を、左下の図に両者の位相角度差を、それぞれ周波数毎に示している。

図-4.1.4 右上に示す前半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、0.00005Hz（周期約6時間）から0.0002Hz（周期約1時間20分）の間の周期帯については、縦軸の値は1.0に近く、沖合と港内との波形相関性は極めて高くなっているが、これより周波数の高い（周期の短い）領域ではコヒーレンスの値は不安定であり両者の相関性は必ずしも高くないことがわかる。同様なことが位相角度差についても認められ、この間の周期帯では位相角度差は、0.0001Hz（周期約2時間45分）より周期の長い周波数（周期）では、位相差がゼロに近く、これよりも高周波（短周期）になると位相差は連続的に変化するが、0.0002Hz（周期約1時間20分）よりも高周波（短周期）領域では、位相差の変化も必ずしも安定していない。

図-4.1.5 右上に示す後半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、前半に比べて、両者の相関性はさらに低下し、前半ではほぼ1.0に近かった0.00005Hz（周期約6時間）から0.0002Hz（周期約1時間20分）の間の周期帯でも、コヒーレンスの値は大きく低下しており、また、位相角度差においては、0.0001Hz

（周期約2時間45分）より周期の長い周波数（周期）であっても、位相差がゼロに収斂しておらず、不安定な変化を示している。

このように、沖合および港内の波形記録のスペクトル相関は、必ずしも高くなく、かつ時間の経過と共により一層相関性が低くなることが確認された。これは、本津波が多様な複数の伝播経路をたどって来襲した遠地津波であること、地形による共振現象によって特定の周波数成分が増幅され、図-4.1.3に示したように、時間と共に周波数スペクトルの形状そのものが変化していったこと、などによるものであると想像されるが、今後の数値シミュレーションに委ねられる課題である。

4.2 釜石港

(1) 観測の概要

東北地方整備局は、釜石大津漁港沖合の水深50m地点に超音波式波高計を設置し、ナウファスの一環としての沖波の連続観測を実施している。同時に、釜石港港内で海上保安庁によって観測されている潮位観測記録をオンライン収集するシステムを構築している。ここでは、釜石港海域におけるこの2観測点の津波波形記録を解析・検討する。

(2) ゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめ

表-4.2.1および表-4.2.2は、それぞれ沖合および港内におけるゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめを、はじめの30個別波について整理した結果である。

沖合記録を見ると、第1波の津波到達は21:54であったにもかかわらず、正の最大偏差は、翌11月16日の3:45に第22波目で13.3cmを記録しており、第1波来襲後6時間後に最大偏差が発生していることがわかる。両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、翌11月16日の2:00に始まる第12波目の個別波波高が24.0cmの最大値となっており、津波の継続時間はきわめて長かったことが理解できる。津波の周期は、十勝港と同様に個別波毎に大きく異なり、きわめて多様であった。

同様の特性は、港内検潮記録にも見られ、正の最大偏差は、翌11月16日の2:00に第10波目で23.9cmを記録しており、両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、2:45に始まる個別波で波高が49.5cmの最大値となっている。津波の周期はやはり多様であった。

(3) 津波波形記録の周波数スペクトル

図-4.2.1および図-4.2.2は、それぞれ沖合および港内における周波数スペクトルを示したものである。周波数スペクトルの計算にあたっては、津波抽出数値フィルター⁶⁾によって津波成分を抽出した波形記録について、沖合海象計が津波を検知した21:54を初期時点として、30秒間隔で2048の17時間4分間のデータをサンプリングした結果を用いた。さらに、津波波形が時間とともに変遷する状況を確認するため、十勝港における検討と同様に、検討対象時間内の前半の1024データ(8時間32分間)に対するスペクトル解析結果と、後半の1024データ(8時間32分間)に対するスペクトル解析結果とをあわせて示し、その結果を比較した。

沖合波形記録を見ると、0.0003Hz(周期55分程度)、0.0004Hz(周期42分程度)および0.0007Hz(周期24分程度)に顕著なピークが見られるが、中でも、0.0007Hz(周期24分程度)のピークが最大となっている。このため、釜石港沖では、本津波は周期24分程度の成分が卓越していたことがわかる。ただし、この周期24分程度のピークは、後半になると前半にくらべてかなり減衰してい

る。他方、0.0015Hz(周期約11分程度)よりも高周波成分にも複数のピークが見られ、こうした高周波成分のエネルギーが、ゼロアップクロス解析で見られた周期数分以下の短い個別波となっていたことも、同時に理解できる。こうした高周波成分のピークは、前半から後半にかけて、ほとんど減衰がみられなかった。このため、ゼロアップクロス法で定義される周期は、表-4.2.1で見られたように、翌日の11月16日の未明以降、次第に短くなっていったものであると思われる。

港内検潮記録を見ても、やはり、0.0003Hz(周期55分程度)、0.0004Hz(周期42分程度)および0.0007Hz(周期24分程度)に顕著なピークが見られるが、中でも、0.0007Hz(周期24分程度)のピークが最大となっている。同時に、沖合では見られなかった0.001Hz(周期約17分)にも弱いピークが見られ、このピークは前半より後半の方が大きくなっている。

(4) 沖合から港内へのスペクトル応答

図-4.2.3は、沖合と港内の水面変動のスペクトル応

表-4.2.1 沖合の個別波解析一覧表(釜石:波高計)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	21:54	10.3	22:08	-8.0	22:25	18.3	43
2	22:37	1.9	22:38	-5.9	22:52	7.8	18
3	22:55	9.7	23:01	-8.4	23:17	18.0	30
4	23:25	6.0	23:32	-7.1	23:47	13.1	29
5	23:54	5.7	00:07	-2.0	00:20	7.7	29
6	00:23	4.2	00:31	-10.2	00:43	14.4	29
7	00:52	7.9	00:59	-2.7	01:13	10.6	22
8	01:14	1.5	01:15	-2.4	01:17	3.9	4
9	01:18	3.5	01:19	-2.5	01:21	6.1	4
10	01:22	8.4	01:23	-10.1	01:39	18.5	29
11	01:51	10.7	01:55	-0.2	01:59	10.9	9
12	02:00	9.3	02:01	-14.6	02:09	24.0	16
13	02:16	8.7	02:19	-0.3	02:21	9.0	5
14	02:21	9.6	02:23	-9.6	02:30	19.2	11
15	02:32	5.6	02:33	-13.8	02:35	19.4	6
16	02:38	1.2	02:38	-5.1	02:39	6.3	2
17	02:40	6.2	02:42	-1.9	02:44	8.1	5
18	02:45	13.1	02:51	-8.3	03:07	21.4	25
19	03:10	8.3	03:12	-11.9	03:30	20.2	22
20	03:32	2.1	03:33	-10.6	03:35	12.7	6
21	03:38	7.8	03:40	-1.2	03:43	8.9	6
22	03:44	13.3	03:45	-6.2	03:55	19.6	14
23	03:58	1.0	03:58	-12.1	04:01	13.1	5
24	04:03	1.0	04:03	-8.8	04:05	9.9	4
25	04:07	11.0	04:09	-3.8	04:12	14.8	6
26	04:13	7.5	04:14	-10.5	04:23	18.1	18
27	04:31	0.4	04:31	-9.6	04:34	9.9	5
28	04:36	8.2	04:37	-1.1	04:39	9.3	3
29	04:39	10.5	04:46	-2.0	04:55	12.4	17
30	02:56	7.3	05:02	-5.1	05:07	12.4	12

表-4.2.2 港内の個別波解析一覧表(釜石:フース)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	21:57	14.4	22:14	-17.1	22:29	31.5	39
2	22:36	5.9	22:42	-10.2	22:53	16.1	23
3	22:59	17.1	23:07	-16.4	23:19	33.5	29
4	23:28	15.1	23:32	-11.9	23:46	27.0	29
5	23:57	9.5	00:05	-4.9	00:22	14.4	29
6	00:26	10.4	00:31	-15.0	00:45	25.4	28
7	00:54	13.4	01:04	-7.2	01:11	20.6	26
8	01:20	8.0	01:23	-0.1	01:27	8.1	8
9	01:28	13.4	01:30	-23.6	01:44	37.0	20
10	01:48	23.9	02:00	-9.4	02:05	33.3	20
11	02:08	1.1	02:08	-22.1	02:15	23.2	11
12	02:19	18.8	02:25	-19.5	02:37	38.3	26
13	02:45	21.1	02:49	-28.4	03:03	49.5	28
14	03:13	23.6	03:18	-14.5	03:31	38.1	30
15	03:43	16.5	03:46	-18.1	04:02	34.6	30
16	04:13	22.6	04:16	-1.7	04:21	24.3	10
17	04:23	2.8	04:24	-26.7	04:29	29.5	13
18	04:36	0.8	04:37	-0.3	04:39	1.1	4
19	04:40	22.3	04:43	-0.3	04:50	22.6	10
20	04:50	6.5	04:53	-9.6	04:58	16.0	12
21	05:02	14.6	05:09	-9.4	05:15	24.0	17
22	05:19	1.4	05:19	-22.4	05:24	23.8	9
23	05:28	11.7	05:31	-5.7	05:36	17.4	9
24	05:37	14.9	05:40	-17.0	05:46	32.0	12
25	05:49	12.4	05:51	-13.6	05:55	26.0	9
26	05:58	7.8	06:00	-2.5	06:05	10.3	10
27	06:08	4.7	06:09	-0.7	06:13	5.4	6
28	06:14	6.7	06:17	-14.8	06:31	21.4	28
29	06:42	10.4	06:45	-10.5	07:03	21.0	31
30	07:13	17.4	07:16	-17.0	07:31	34.4	21

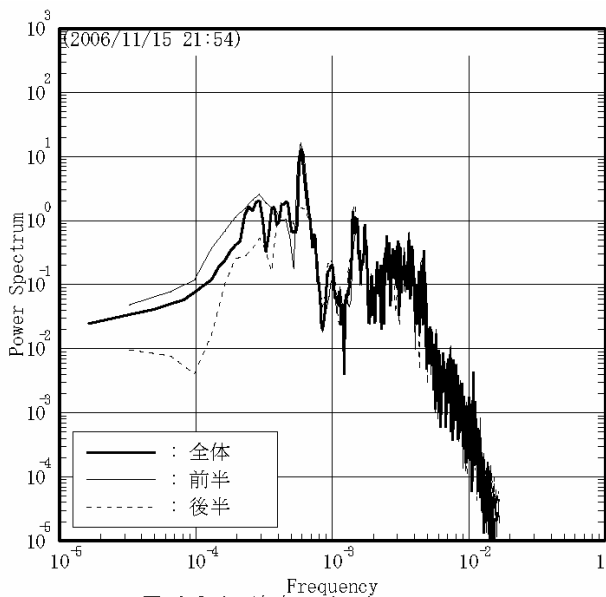


図-4.2.1 波高スペクトル

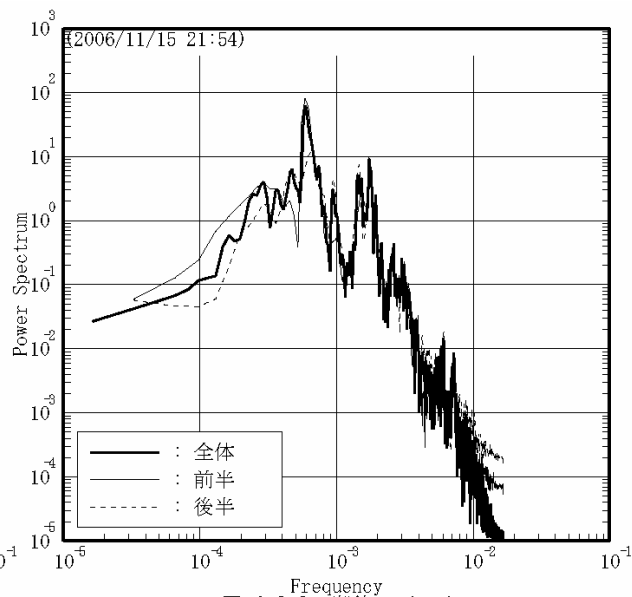


図-4.2.2 潮位スペクトル

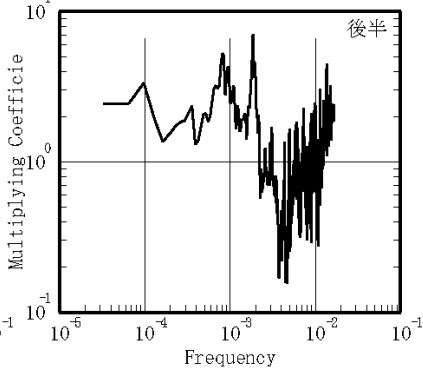
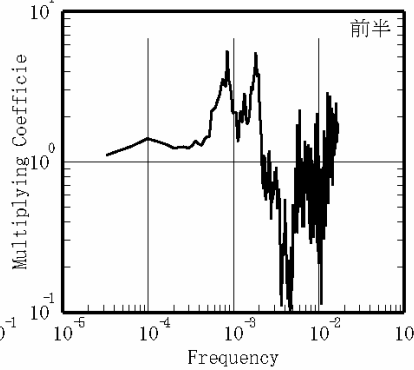
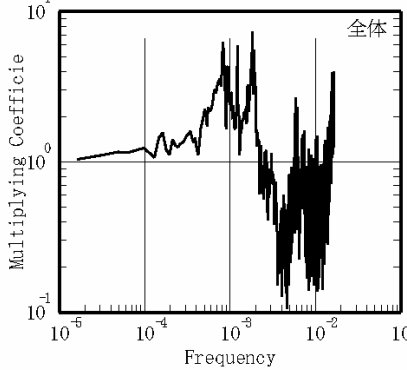
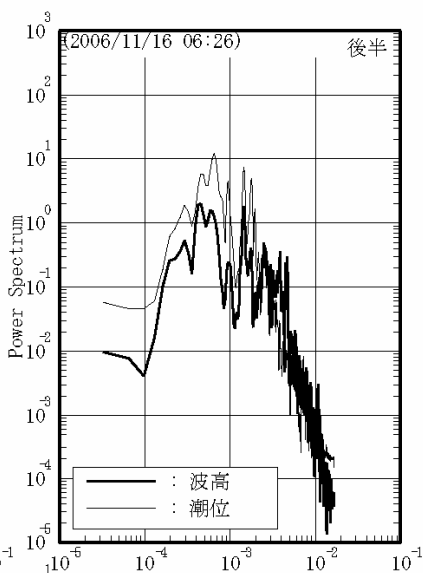
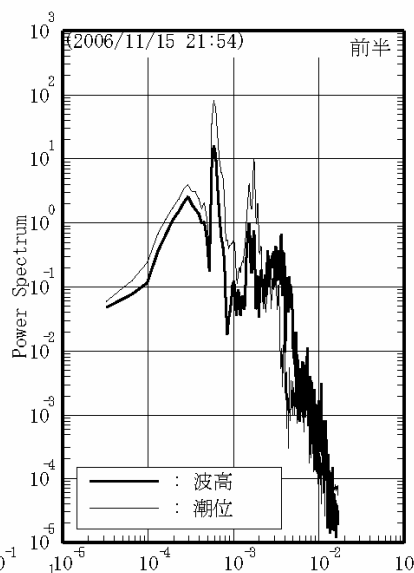
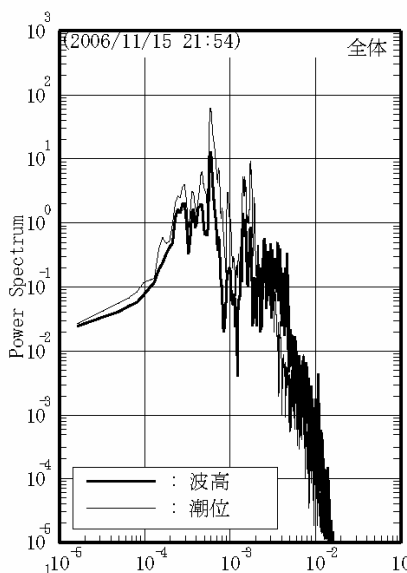


図-4.2.3 沖合から港内への水位変動の応答（釜石）

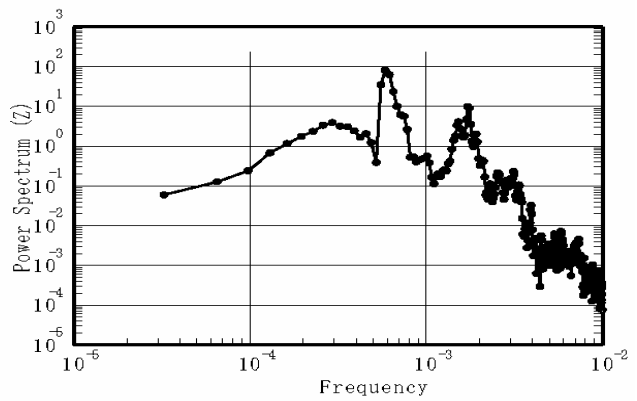
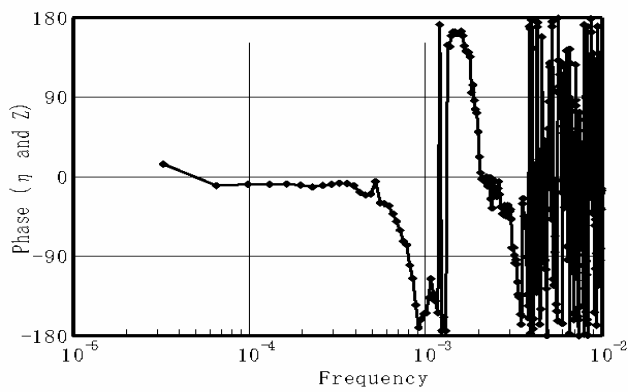
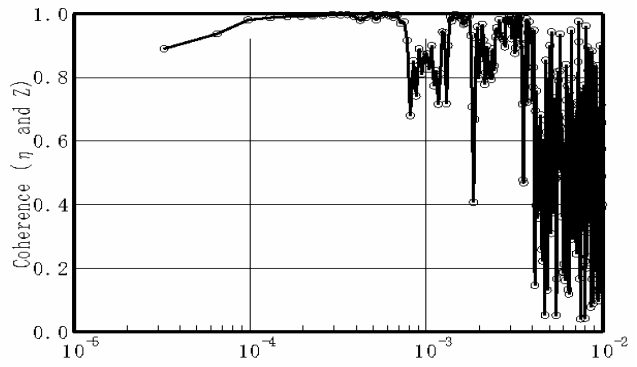
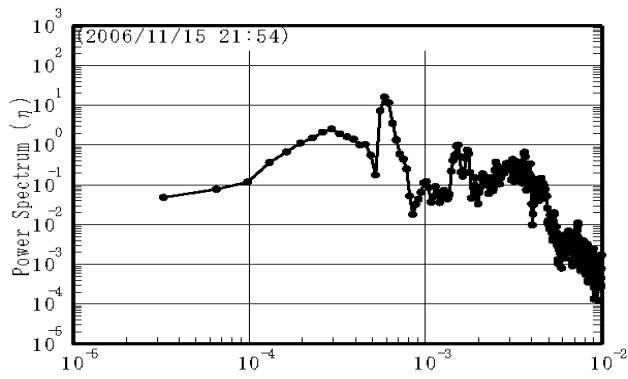


図-4.2.4 沖合と港内とのスペクトル相関 (釜石：前半)

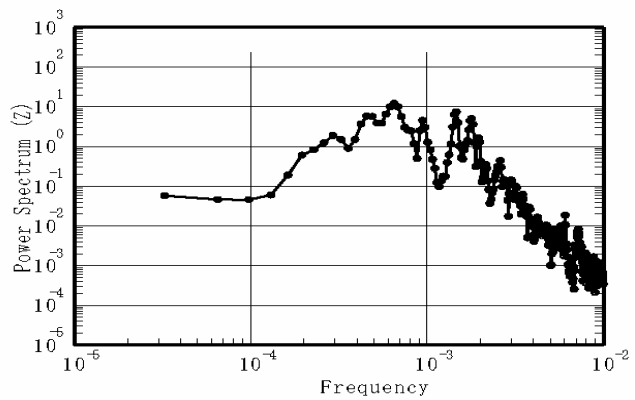
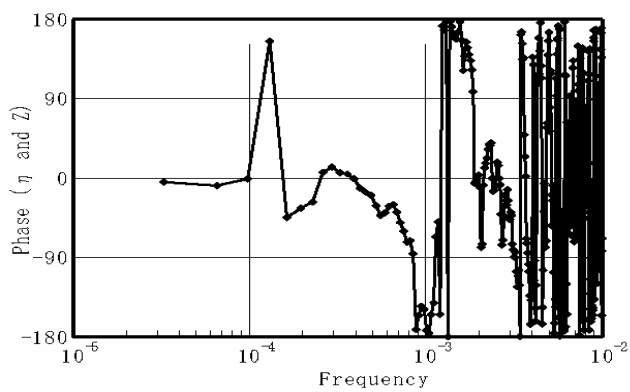
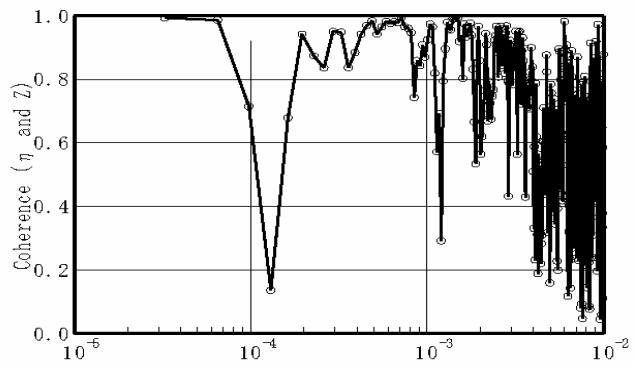
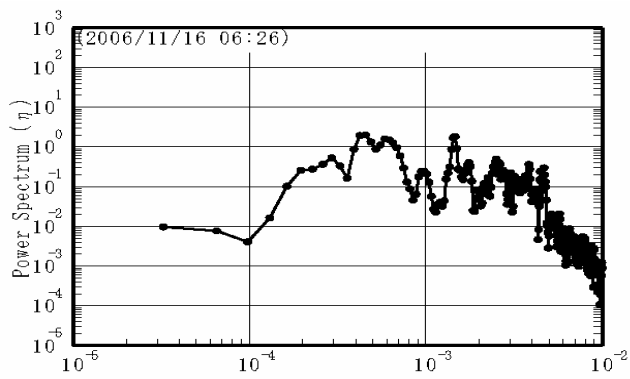


図-4.2.5 沖合と港内とのスペクトル相関 (釜石：後半)

答を示したものである。ほとんどすべての周波数帯で、港内の津波パワーは沖合よりも強く、沖合から港内への津波の増幅の状況がよく理解できる。

しかしながら、周波数毎に細かく見ると、その応答比は大きな特徴をもっている。すなわち、本津波のパワーの多くを占める周波数帯に注目すると、0.0009Hz（周期約18分）付近で顕著な増幅のピークが見られる。また、0.002Hz（周期約8分）付近でも、やはり顕著な増幅のピークが見られる。こうした特徴をもつ周波数応答関数の形状は、この周波数帯では、前半と後半で、ほとんど変化していない。また、2003年十勝沖地震津波の際にも、同様の周波数応答関数が確認されており⁴⁾この周波数帯における沖合から港内への顕著な増幅は、2003年十勝沖地震津波の際にも確認されており⁴⁾、港湾形状や海底地形による釜石港周辺の固有周期が18分および8分程度であることが改めて確認された。

（5）沖合と港内とのスペクトル相関

図-4.2.4と図-4.2.5は、それぞれ、前半および後半における沖合と港内との水位変動のスペクトル相関を示したものである。

図-4.2.4 右上に示す前半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、0.0008Hz（周期約21分）より低周波（長周期）の周期帯については、縦軸の値は1.0に近く、沖合と港内との波形相関性は極めて高くなっている。同様なことが位相角度差についても認められ、この間の周期帯では位相角度差は、0.0002Hz（周期約33分）より低周波数（長周期）では、位相差がゼロに近く、これよりも高周波（短周期）になると位相差は連続的に変化している。ただし、0.001Hz（周期約17分）よりも高周波（短周期）領域では、位相差の変化も必ずしも安定していない。

図-4.2.5 右上に示す後半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、前半に比べて、両者の相関性は低下している。すなわち、前半ではほぼ1.0に近かった0.0008Hz（周期約21分）より低周波（長周期）の周期帯でも、コヒーレンスの値は大きく低下しており、また、位相角度差においても、前半よりは、不安定な変化を示している。

このように、十勝港に比較すれば、釜石港では、沖合と港内との津波波形の相関性は、相対的には高いものであったが、やはり、時間の経過と共に相関性が低くなることが確認された。

4. 3 石巻港

（1）観測の概要

東北地方整備局は、石巻港沖合の水深20m地点に海象計を設置し、ナウファスの一環としての沖波の連続観測を実施している。同時に、石巻港港内でも潮位観測を実施し、潮位観測記録をオンライン収集するシステムを構築している。ここでは、石巻港海域におけるこの2観測点の津波波形記録を解析・検討する。

なお、石巻港検潮所では、井戸周波数応答を検討する試験が実施されており、ここで紹介する周期帯の津波に対しては井戸内の水位応答は良好であることを確認している²³⁾。

（2）ゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめ

表-4.3.1および表-4.3.2は、それぞれ沖合および港内におけるゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめを、はじめの30個別波について整理した結果である。

沖合記録を見ると、第1波の津波到達は22:40であったにもかかわらず、正の最大偏差は、翌11月16日の4:42に第19波目で14.3cmを記録しており、第1波来襲後6時間後に最大偏差が発生していることがわかる。両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、翌11月16日の同じ第19波目の個別波波高が22.5cmの最大値となっており、津波の継続時間はきわめて長かったことが理解できる。津波の周期は、十勝港と同様に個別波毎に大きく異なり、きわめて多様であった。

同様の特性は、港内検潮記録にも見られ、正の最大偏差は、翌11月16日の6:04に24.6cmを記録しており、両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、4:58に始まる個別波で波高が46.0cmの最大値となっている。津波の周期はやはり多様であった。

（3）津波波形記録の周波数スペクトル

図-4.3.1および図-4.3.2は、それぞれ沖合および港内における周波数スペクトルを示したものである。周波数スペクトルの計算にあたっては、津波抽出数値フィルター⁶⁾によって津波成分を抽出した波形記録について、沖合海象計が津波を検知した22:40を初期時点として、30秒間隔で2048の17時間4分間のデータをサンプリングした結果を用いた。さらに、津波波形が時間とともに変遷する状況を確認するため、検討対象時間内の前半の1024データ（8時間32分間）に対するスペクトル解析

結果と、後半の 1024 データ（8 時間 32 分間）に対するスペクトル解析結果とをあわせて示し、その結果を比較した。

図-4.3.1 の沖合波形記録を見ると、0.0002Hz（周期 1 時間 15 分程度）付近に顕著なピークが見られる。ただし、この長周期のピークは、後半になると前半にくらべて若干減衰している。他方、0.0008Hz（周期 21 分程度）から 0.001Hz（周期 17 分程度）にかけて、および 0.002Hz（周期 8 分程度）から 0.0025Hz（周期 7 分程度）にかけての高周波成分にも複数のピークが見られ、こうした高周波成分のエネルギーが、ゼロアップクロス解析で見られた周期数分以下の短い個別波となっていたことも、同時に理解できる。こうした高周波成分のピークは、前半から後半にかけて、ほとんど減衰がみられなかった。このため、ゼロアップクロス法で定義される周期は、表-4.3.1 で見られたように、翌日の 11 月 16 日の未明以降、次第に短くなっていったものであると思われる。

図-4.3.2 の港内検潮記録を見ても、やはり、0.0002Hz（周期 1 時間 15 分程度）付近に顕著なピークが見られる。

同時に、沖合では見られなかった 0.0006Hz（周期約 28 分）にも高いピークが見られ、このピークは後半もほとんど減衰しなかった。

（4）沖合から港内へのスペクトル応答

図-4.3.3 は、沖合と港内の水面変動のスペクトル応答を示したものである。ほとんどすべての周波数帯で、港内の津波パワーは沖合いよりも強く、沖合いから港内への津波の増幅の状況がよく理解できる。

しかしながら、周波数毎に細かく見ると、その応答比は大きな特徴をもっている。すなわち、本津波のパワーの多くを占める周波数帯に注目すると、0.0007Hz（周期約 24 分）付近で顕著な増幅のピークが見られる。また、0.002Hz（周期約 8 分）付近でも、次に大きな増幅のピークが見られる。こうした特徴をもつ周波数応答関数の形状は、この周波数帯では、前半と後半で、ほとんど変化していない。また、2003 年十勝沖地震津波の際にも、同様の周波数応答関数が確認されており⁴⁾、港湾形状や海底地形による石巻港周辺の固有周期が 24 分および 8 分

表-4.3.1 沖合の個別波解析一覧表(石巻：海象計)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	22:40	5.8	23:01	-7.6	23:24	13.4	64
2	23:44	0.7	23:45	-0.4	23:47	1.2	3
3	23:47	8.7	23:57	-10.7	00:33	19.4	68
4	00:55	1.0	00:57	-1.4	00:58	2.5	4
5	00:59	8.9	01:13	-13.5	02:12	22.4	79
6	02:18	0.3	02:18	-3.3	02:21	3.6	5
7	02:23	4.7	02:24	-4.1	02:28	8.7	7
8	02:30	4.9	02:31	-3.9	02:34	8.8	6
9	02:36	8.3	02:48	-0.9	02:54	9.1	19
10	02:55	3.3	02:59	-0.6	03:00	3.9	6
11	03:01	5.7	03:03	-1.3	03:06	7.0	6
12	03:07	6.7	03:18	-8.3	03:22	15.0	17
13	03:24	1.5	03:25	-14.4	03:39	15.9	28
14	03:52	0.6	03:52	-3.6	03:54	4.2	6
15	03:58	4.9	04:00	-2.7	04:07	7.6	10
16	04:08	5.8	04:09	-0.5	04:11	6.3	4
17	04:12	13.3	04:15	-5.0	04:28	18.3	19
18	04:31	2.1	04:32	-13.9	04:37	16.0	9
19	04:40	14.3	04:42	-8.2	04:45	22.5	6
20	04:46	2.5	04:47	-6.3	04:49	8.8	4
21	04:50	5.3	04:51	-3.0	04:57	8.3	8
22	04:58	13.2	04:59	-4.4	05:02	17.5	5
23	05:03	8.4	05:04	-1.1	05:08	9.6	5
24	05:08	11.5	05:10	-5.7	05:14	17.2	7
25	05:15	3.6	05:16	-1.3	05:17	4.9	3
26	05:18	2.3	05:19	-15.0	05:24	17.3	10
27	05:28	3.2	05:29	-12.1	05:31	15.4	8
28	05:36	1.3	05:36	-10.6	05:39	11.9	7
29	05:43	9.5	05:47	-3.1	05:49	12.6	7
30	05:50	12.7	05:55	-0.7	05:58	13.4	9

表-4.3.2 港内の個別波解析一覧表(石巻：フース)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	22:45	12.8	23:03	-12.1	23:23	24.9	57
2	23:42	0.1	23:44	-1.4	23:46	1.6	8
3	23:50	19.5	00:09	-18.4	00:33	37.9	61
4	00:51	0.4	00:51	-1.2	00:52	1.6	2
5	00:53	1.1	00:55	-0.2	00:57	1.4	4
6	00:57	2.3	00:59	-0.2	01:00	2.5	4
7	01:01	0.6	01:02	-0.9	01:03	1.6	3
8	01:04	16.1	01:25	-3.9	01:38	20.0	37
9	01:41	0.4	01:41	-13.6	02:06	14.0	42
10	02:23	8.1	02:33	-2.8	02:50	11.0	28
11	02:51	7.5	02:52	-4.3	02:58	11.7	9
12	03:00	6.0	03:02	-2.4	03:05	8.4	9
13	03:09	9.9	03:28	-20.8	03:43	30.6	45
14	03:54	0.3	03:55	-3.4	03:57	3.8	4
15	03:58	12.3	04:00	-1.9	04:15	14.2	19
16	04:17	7.9	04:21	-0.9	04:24	8.8	8
17	04:25	8.8	04:34	-6.0	04:37	14.8	13
18	04:38	1.3	04:38	-11.9	04:49	13.2	14
19	04:52	1.9	04:52	-1.9	04:53	3.8	3
20	04:55	2.0	04:55	0.0	04:58	2.1	3
21	04:58	23.3	05:03	-22.7	05:23	46.0	40
22	05:38	1.5	05:38	-3.5	05:40	5.0	7
23	05:45	6.6	05:49	-1.2	05:51	7.8	7
24	05:52	24.6	06:04	-3.3	06:14	27.9	23
25	06:15	2.3	06:15	-20.4	06:28	22.7	15
26	06:30	3.5	06:32	-2.4	06:34	5.9	5
27	06:35	2.7	06:35	-0.8	06:36	3.6	2
28	06:37	1.6	06:38	-2.5	06:38	4.1	2
29	06:39	1.8	06:40	-2.0	06:41	3.8	3
30	06:42	10.2	06:44	-9.5	06:47	19.7	12

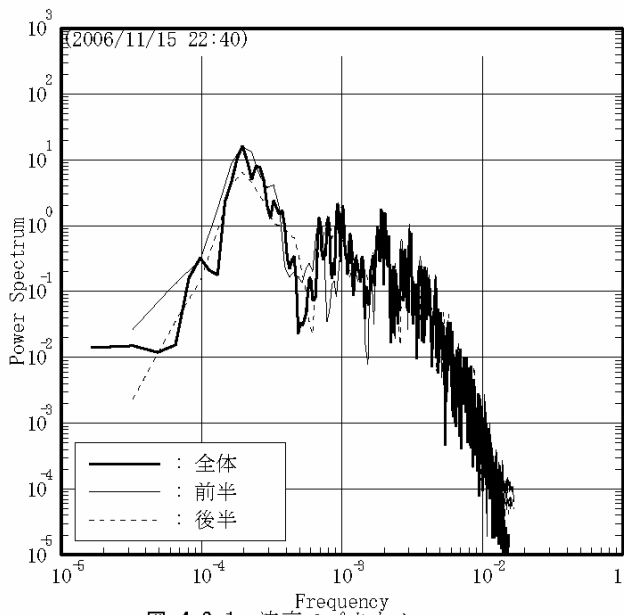


図-4.3.1 波高スペクトル

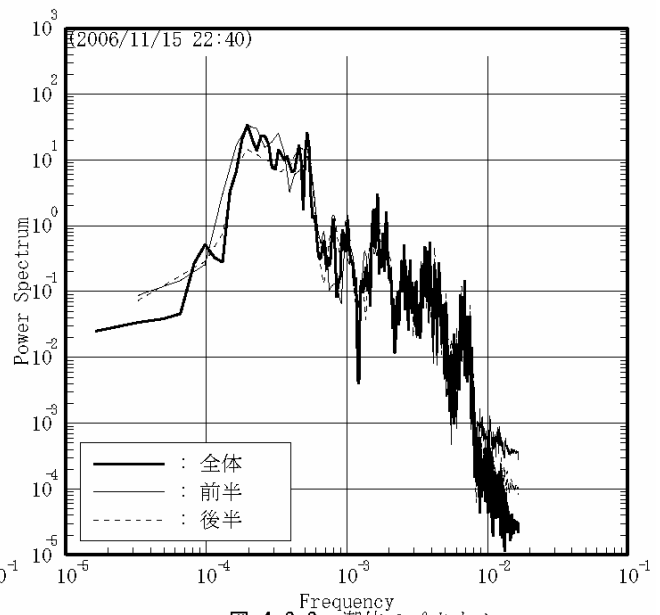


図-4.3.2 潮位スペクトル

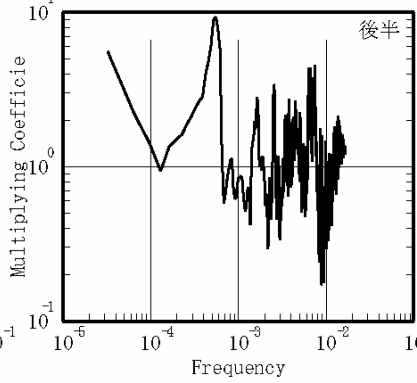
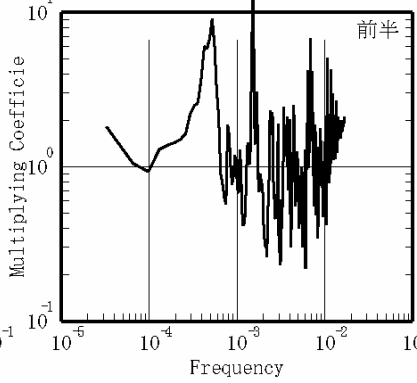
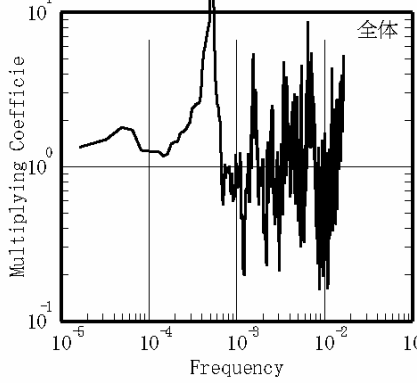
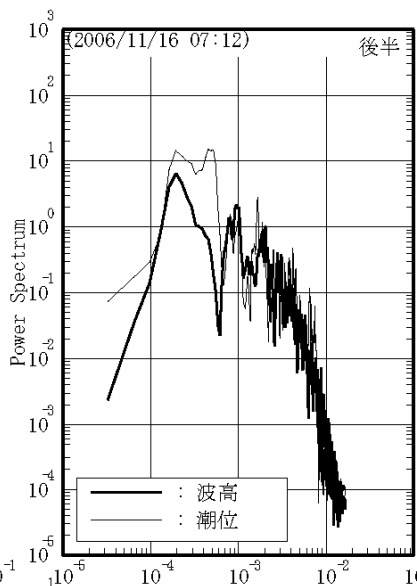
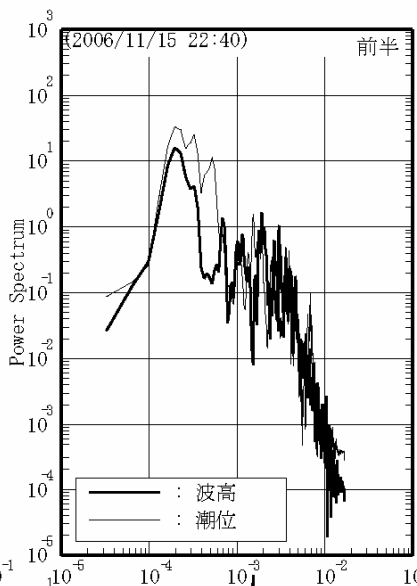
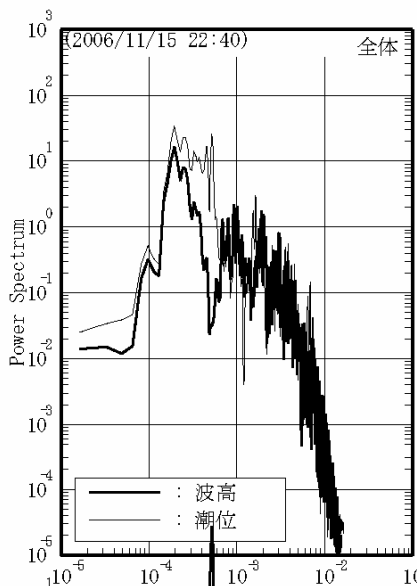


図-4.3.3 沖合から港内への水位変動の応答 (石巻)

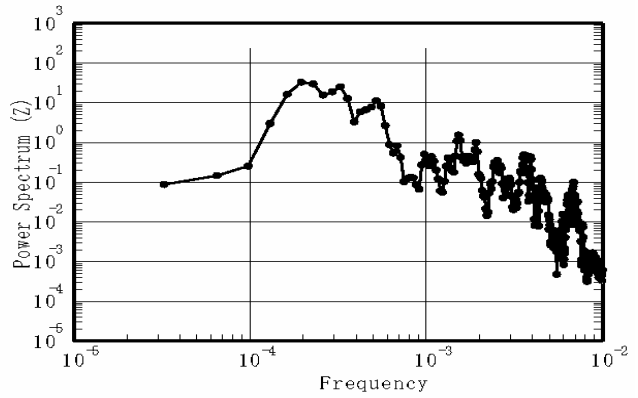
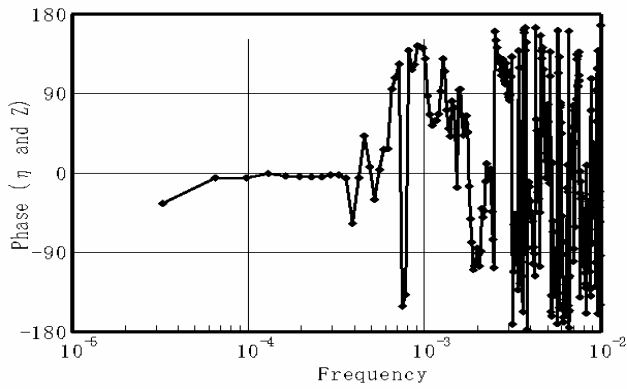
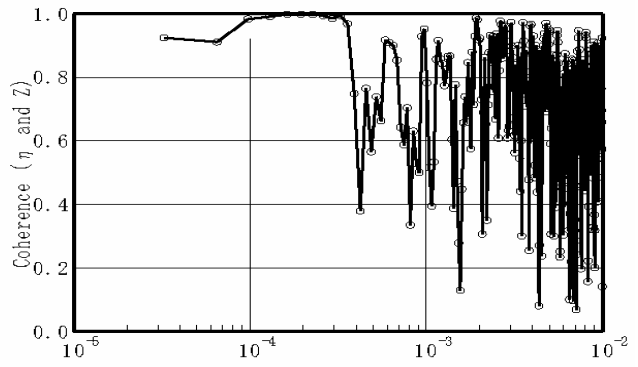
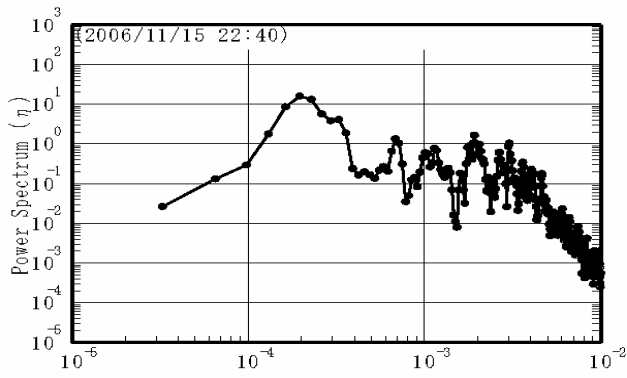


図-4.3.4 沖合と港内とのスペクトル相関 (石巻：前半)

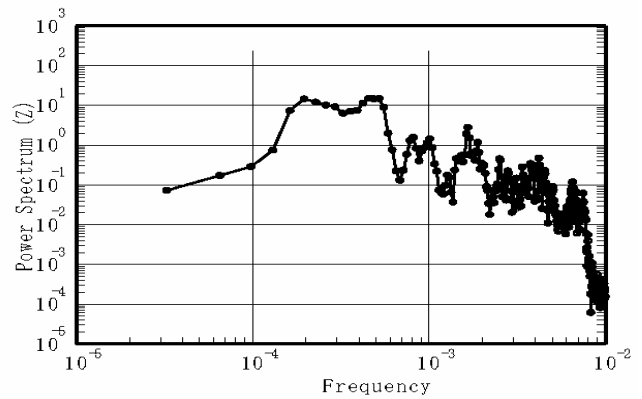
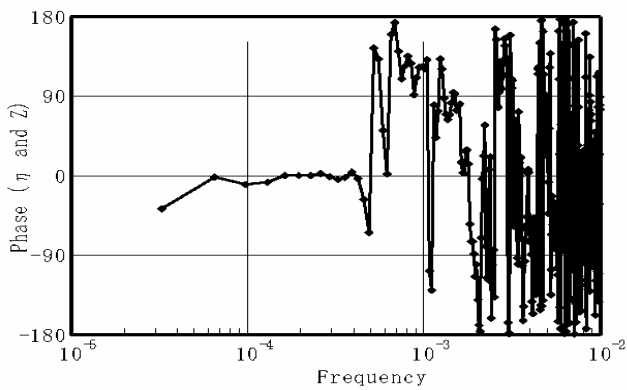
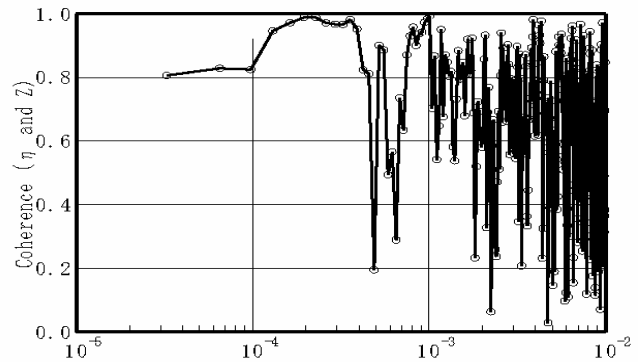
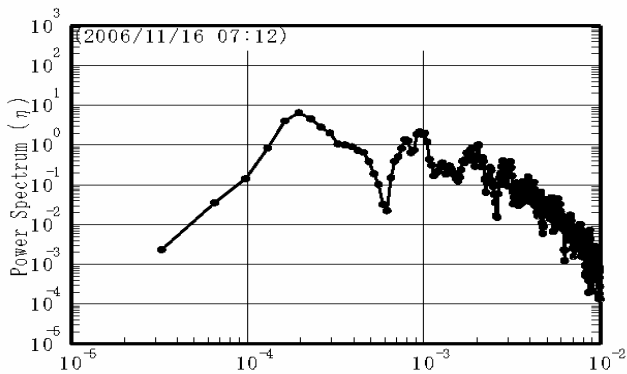


図-4.3.5 沖合と港内とのスペクトル相関 (石巻：後半)

程度であることが改めて確認された。

(5) 沖合と港内とのスペクトル相関

図-4.3.4 と図-4.3.5 は、それぞれ、前半および後半における沖合と港内との水位変動のスペクトル相関を示したものである。図-4.3.4 右上に示す前半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、0.00035Hz (周期約 48 分) より低周波 (長周期) の周期帯については、縦軸の値は 1.0 に近く、沖合と港内との波形相関性は極めて高くなっている。同様なことが位相角度差についても認められ、この間の周期帯では位相角度差は、0.00035Hz (周期約 48 分) より低周波数 (長周期) では、位相差がゼロに近く、これよりも高周波 (短周期) になると位相差の変化も必ずしも安定していない。

図-4.3.5 右上に示す後半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、前半に比べて、両者の相関性はほとんど変化していない。

このように、石巻港における沖合と港内との津波波形の相関性は、十勝港よりは高く釜石港よりは低かったが、前出の両港で見られた時間の経過とともに波形の相関性が低くなる傾向は確認できなかった。

このような港湾毎に異なる沖合と港内との津波波形の相関性の相違も、今後、数値シミュレーションによって検討すべき課題である。

4. 4 鹿島港

(1) 観測の概要

関東地方整備局は、鹿島港沖合の水深 24m 地点に超音波式波高計を設置し、ナウファスの一環としての沖波の連続観測を実施している。同時に、鹿島港港内でも潮位観測を実施し、潮位観測記録をオンライン収集するシステムを構築している。ここでは、鹿島港海域におけるこの 2 観測点の津波波形記録を解析・検討する。

(2) ゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめ

表-4.4.1 および表-4.4.2 は、それぞれ沖合および港内におけるゼロアップクロス解析による津波波形のとりまとめを、はじめの 30 個別波について整理した結果である。

沖合記録を見ると、第 1 波の津波到達は 22:30 であったにもかかわらず、正の最大偏差は、翌 11 月 16 日の 3:55 に第 17 波目で 17.1cm を記録しており、第 1 波来襲後 5 時間半後に最大偏差が発生していることがわかる。両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、翌 11

月 16 日の 3:02 に始まる第 13 波目の個別波波高が 29.5cm の最大値となっており、津波の継続時間はきわめて長かったことが理解できる。津波の周期は、十勝港と同様に個別波毎に大きく異なり、きわめて多様であった。

同様の特性は、港内検潮記録にも見られ、正の最大偏差は、翌 11 月 16 日の 7:54 に 27.9cm を記録しており、両振幅として定義される波高の最大となる個別波も、7:42 に始まる個別波で波高が 51.8cm の最大値となっている。津波の周期はやはり多様であった。

なお、鹿島港沖合における津波到達時刻 22:30 は、より震源に近い石巻港沖の 22:40 よりも早く、港内での津波到達時刻においても、鹿島港では 22:40、石巻港では 22:45 であり、やはり鹿島港の方が早かった。これは、今後の数値シミュレーションによって解明されるべき問題ではあるが、津波伝播経路の相違によるものと推定される。すなわち、鹿島港に到達する津波は、より水深の深い (伝播速度の速い) 経路をたどったものと推定される。

(3) 津波波形記録の周波数スペクトル

図-4.4.1 および図-4.4.2 は、それぞれ沖合および港内における周波数スペクトルを示したものである。周波数スペクトルの計算にあたっては、津波抽出数値フィルター⁶⁾によって津波成分を抽出した波形記録について、沖合海象計が津波を検知した 22:30 を初期時点として、30 秒間隔で 2048 の 17 時間 4 分間のデータをサンプリングした結果を用いた。さらに、津波波形が時間とともに変遷する状況を確認するため、検討対象時間内の前半の 1024 データ (8 時間 32 分間) に対するスペクトル解析結果と、後半の 1024 データ (8 時間 32 分間) に対するスペクトル解析結果とをあわせて示し、その結果を比較した。

沖合波形記録を見ると、0.0003Hz (周期 55 分程度) 付近および 0.0005Hz (周期 33 分程度) 付近に顕著なピークが見られる。ただし、前者の長周期のピークは、後半になると前半にくらべてかなり減衰する反面、後者のピークはむしろ増加している。他方、0.002Hz (周期 8 分程度) から 0.003Hz (周期 6 分程度) にかけての高周波成分にも複数のピークが見られ、こうした高周波成分のエネルギーが、ゼロアップクロス解析で見られた周期数分以下の短い個別波となっていたことも、同時に理解できる。こうした高周波成分のピークは、前半から後半にかけて、ほとんど減衰がみられなかった。このため、ゼロアップクロス法で定義される周期は、表-4.4.1 で見られた

ように、翌日の11月16日の未明以降、次第に短くなっていったものであると思われる。

港内検潮記録を見ても、やはり、0.0003Hz（周期55分程度）付近に顕著なピークが見られる。同時に、沖合では見られなかった0.0006Hz（周期約28分）から0.0008Hz（周期約21分）にも高いピークが見られ、このピークは後半もほとんど減衰しなかった。

（4）沖合から港内へのスペクトル応答

図-4.4.3は、沖合と港内の水面変動のスペクトル応答を示したものである。ほとんどすべての周波数帯で、港内の津波パワーは沖合よりも強く、沖合から港内への津波の増幅の状況がよく理解できる。

しかしながら、周波数毎に細かく見ると、その応答比は大きな特徴をもっている。すなわち、本津波のパワーの多くを占める周波数帯に注目すると、0.0003Hz（周期約55分）付近で顕著な増幅のピークが見られる。また、0.0008Hz（周期約21分）付近でも、同様に大きな増幅のピークが見られる。鹿島港海域における港湾形状や海底

地形による港周辺の固有周期は55分および21分程度であることが確認された。こうした特徴をもつ周波数帯の形状は、この周波数帯では、前半と後半で、ほとんど変化していない。港湾形状や海底地形による鹿島港周辺の固有周期が55分および21分程度であることが確認された。

（5）沖合と港内とのスペクトル相関

図-4.4.4と図-4.4.5は、それぞれ、前半および後半における沖合と港内との水位変動のスペクトル相関を示したものである。

図-4.4.4右上に示す前半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、0.0001Hz（周期約2時間45分）よりも低周波（長周期）側を除く0.00025Hz（周期約1時間7分）より低周波（長周期）の周期帯については、縦軸の値は1.0に近く、沖合と港内との波形相関性は極めて高くなっている。同様なことが位相角度差についても認められ、この間の周期帯では位相角度差は、0.00035Hz（周期約48分）より低周波数（長周期）

表-4.4.1 沖合の個別波解析一覧表(鹿島：波高計)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	22:30	8.5	22:38	-7.9	23:14	16.3	51
2	23:21	9.4	23:30	-4.5	23:49	13.9	38
3	23:59	0.6	23:59	-1.1	00:00	1.7	2
4	00:01	0.6	00:02	-0.7	00:04	1.2	4
5	00:05	1.5	00:06	-0.4	00:10	1.9	5
6	00:10	0.7	00:12	-4.8	00:20	5.5	19
7	00:29	6.0	00:59	-14.1	01:20	20.1	58
8	01:27	7.9	01:37	-2.6	01:49	10.5	23
9	01:50	5.7	01:51	0.0	01:55	5.7	6
10	01:56	3.5	02:00	0.0	02:01	3.5	6
11	02:02	3.9	02:03	-11.6	02:30	15.5	38
12	02:40	12.7	02:53	-2.2	03:00	14.9	22
13	03:02	14.1	03:05	-15.4	03:10	29.5	21
14	03:23	2.5	03:23	-11.2	03:26	13.7	7
15	03:30	4.2	03:30	-7.2	03:38	11.4	11
16	03:41	2.2	03:42	-0.8	03:44	3.1	4
17	03:45	17.1	03:55	-6.7	04:05	23.8	22
18	04:07	2.0	04:08	-12.7	04:10	14.7	6
19	04:13	5.0	04:13	-8.1	04:17	13.2	6
20	04:19	8.3	04:22	-12.9	04:24	21.2	14
21	04:33	6.2	04:33	-10.8	04:38	17.0	10
22	04:43	7.0	04:46	-9.5	04:49	16.5	7
23	04:50	12.7	04:53	-4.6	04:54	17.3	5
24	04:55	6.3	05:00	-2.9	05:02	9.2	8
25	05:03	7.8	05:06	-7.1	05:08	14.8	6
26	05:09	7.8	05:10	-5.4	05:14	13.2	6
27	05:15	7.3	05:16	-11.9	05:20	19.2	9
28	05:24	7.0	05:24	-6.8	05:29	13.8	7
29	05:31	5.8	05:32	-10.2	05:36	16.1	7
30	05:38	2.4	05:39	-11.0	05:42	13.4	9

表-4.4.2 港内の個別波解析一覧表(鹿島：フース)

NO	到達時刻	偏差	時刻	偏差	時刻	波高	周期
1	22:40	8.6	22:54	-0.8	23:06	9.4	27
2	23:07	0.3	23:07	-1.0	23:08	1.3	2
3	23:09	0.6	23:09	-20.6	23:22	21.2	22
4	23:31	15.0	23:44	-21.5	00:10	36.5	51
5	00:22	11.4	00:42	-5.9	00:59	17.3	43
6	01:05	4.7	01:10	-10.4	01:21	15.1	37
7	01:42	14.7	01:53	-14.3	02:29	29.0	53
8	02:35	0.3	02:35	-2.0	02:38	2.2	5
9	02:40	1.4	02:41	-0.2	02:44	1.6	4
10	02:44	13.0	02:51	-0.4	02:59	13.4	16
11	03:00	12.5	03:07	-21.1	03:24	33.6	44
12	03:44	0.3	03:45	-3.6	03:47	3.9	4
13	03:48	25.1	04:02	-25.4	04:29	50.5	54
14	04:42	16.9	04:47	-24.3	05:23	41.2	49
15	05:31	8.8	05:32	-6.8	05:36	15.6	7
16	05:38	7.9	05:40	-1.9	05:42	9.8	5
17	05:43	3.4	05:45	-5.8	05:49	9.1	10
18	05:53	22.6	05:57	-14.9	06:18	37.5	38
19	06:31	2.0	06:32	-3.3	06:33	5.4	4
20	06:35	3.2	06:37	-0.2	06:38	3.4	4
21	06:39	8.4	06:43	-4.9	06:47	13.3	9
22	06:48	16.6	06:57	-0.6	07:05	17.2	17
23	07:05	2.6	07:06	-17.1	07:10	19.6	37
24	07:42	27.9	07:54	-23.8	08:22	51.8	58
25	08:40	27.9	08:54	-18.1	09:28	46.0	55
26	09:35	19.4	09:41	-3.0	09:53	22.3	19
27	09:54	4.9	09:58	-6.9	10:07	11.8	17
28	10:11	5.6	10:13	-4.1	10:21	9.6	12
29	10:23	10.0	10:28	-11.3	10:38	21.2	18
30	10:41	6.8	10:44	-9.8	10:53	16.6	19

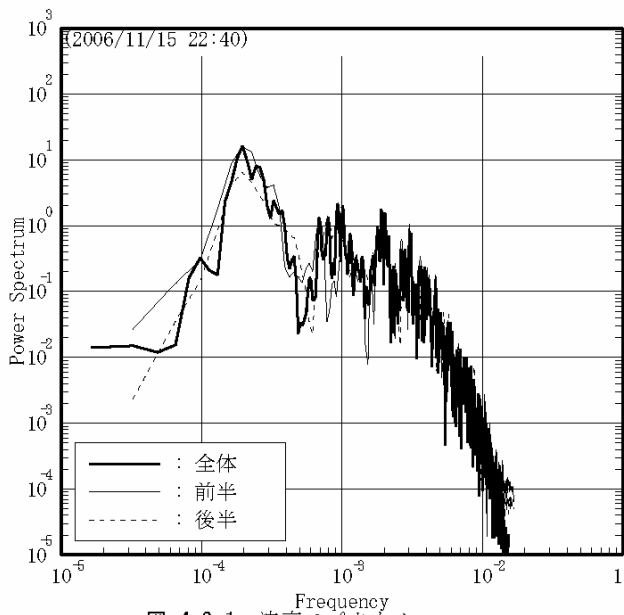


図-4.3.1 波高スペクトル

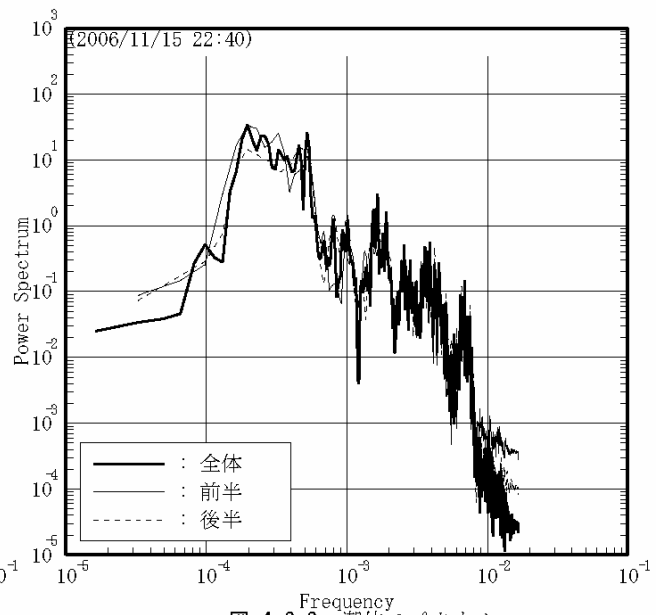


図-4.3.2 潮位スペクトル

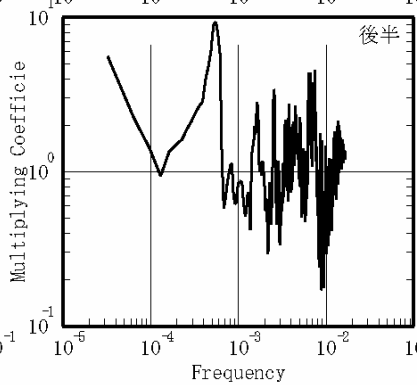
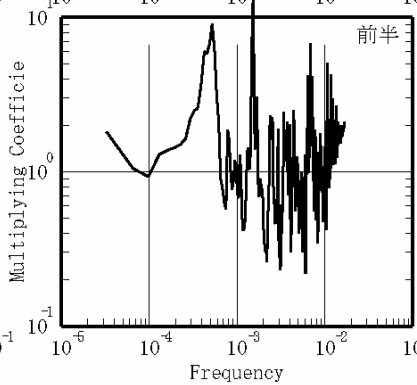
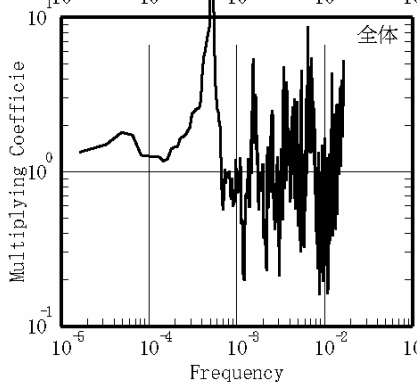
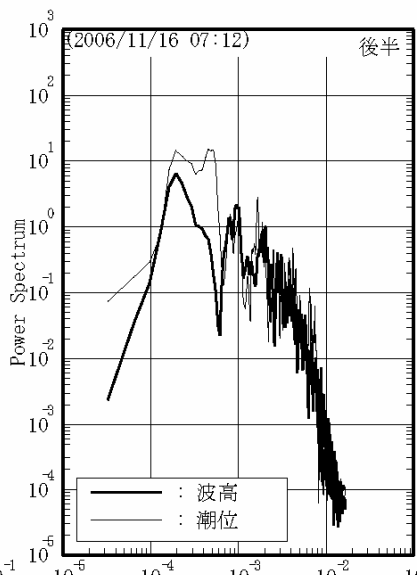
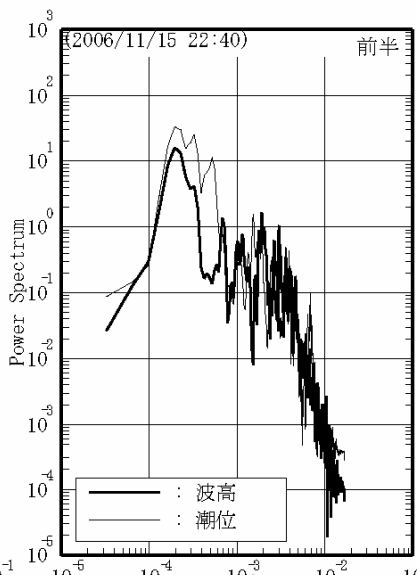
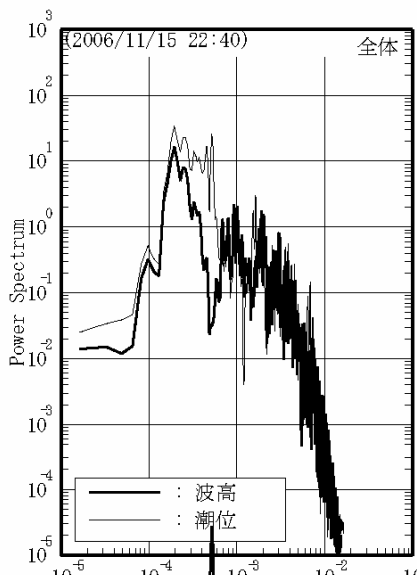


図-4.3.3 沖合から港内への水位変動の応答 (石巻)

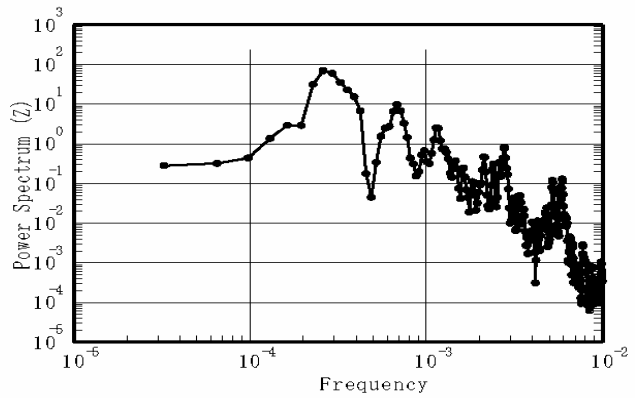
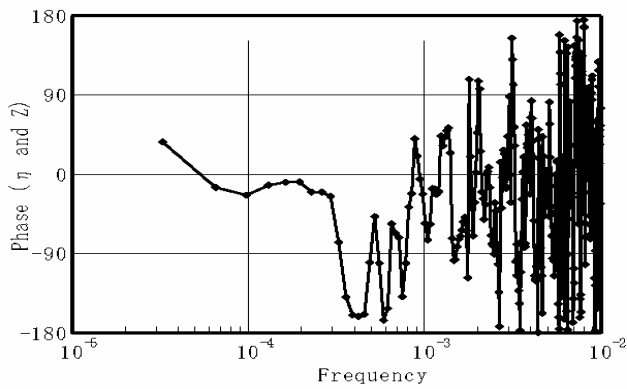
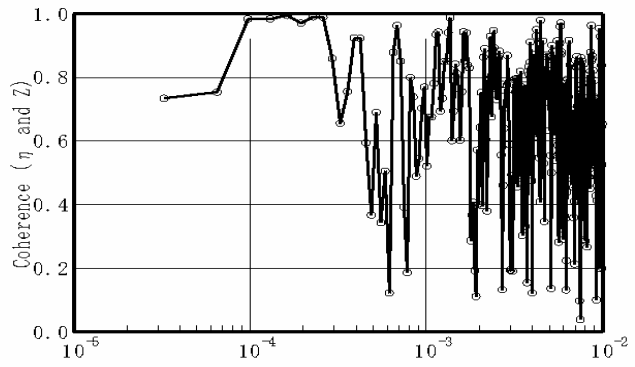
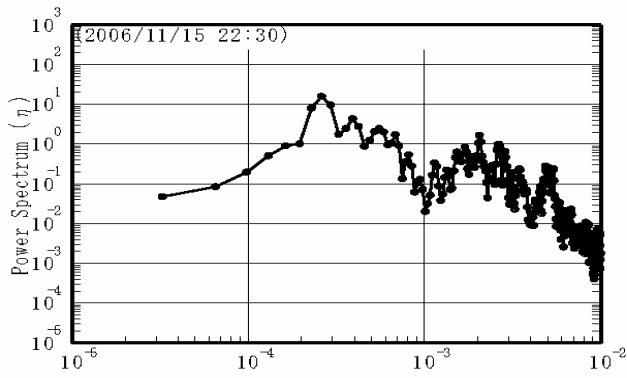


図-4.4.4 沖合と港内とのスペクトル相関 (鹿島：前半)

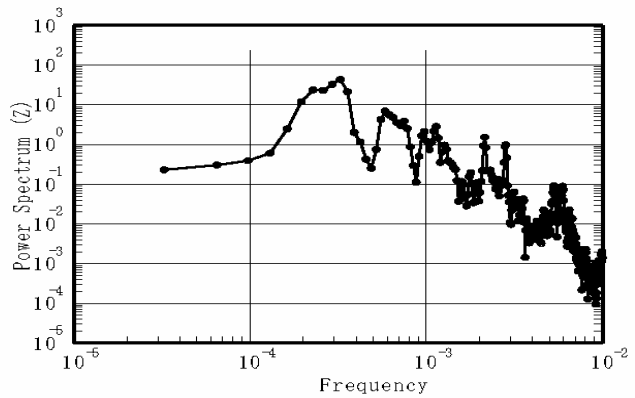
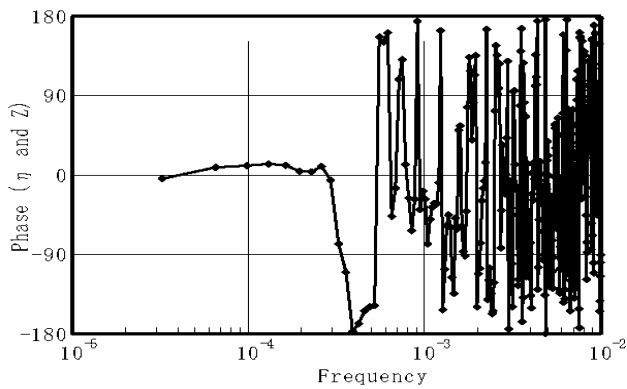
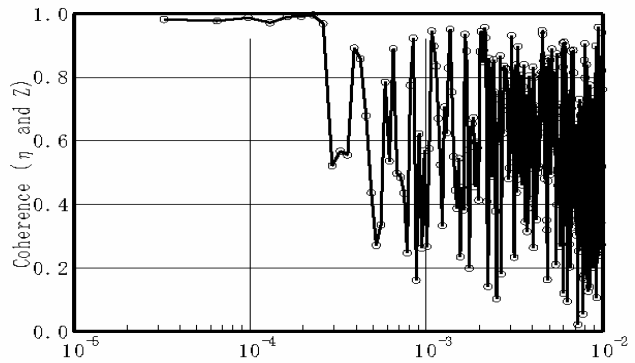
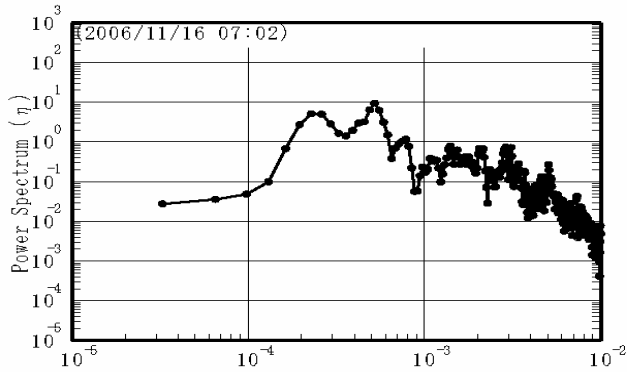


図-4.4.5 沖合と港内とのスペクトル相関 (鹿島：後半)

では、位相差がゼロに近く、これよりも高周波（短周期）になると位相差の変化も必ずしも安定していない。

図-4.4.5 右上に示す後半時間を対象とした解析にもとづくコヒーレンスの図を見ると、前半に比べて、両者の相関性はほとんど変化していない。このように、鹿島港における沖合と港内との津波波形の相関性は、十勝港よりは高く釜石港よりは低かったが、前出の両港で見られた時間の経過とともに波形の相関性が低くなる傾向は、石巻港と同様に必ずしも確認できなかった。

5. まとめ

本稿は、ナウファスおよび沿岸検潮所が捉えた津波波形観測記録をとりまとめたものであり、1993年北海道南西沖地震津波¹⁾、1994年北海道東方沖地震津波²⁾、1996年イリアンジャヤ地震津波³⁾、2003年十勝沖地震津波⁴⁾、2004年東海道沖地震津波⁵⁾、2005年宮城県沖の地震津波⁶⁾に続く、沖合および沿岸における津波観測資料であり、全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）が捉えた、平成18年（2006年）千島列島沖の地震津波波形観測記録を、とりまとめたものである。以下に本資料で明らかにされた内容を箇条書きで示す。

（1）沖合波浪計26観測点、港内検潮所29観測点における津波波計記録を収集整理した結果、津波波形の検出状況は、以下のとおりであった。

①顕著な津波波形が観測された観測点

観測波形記録から津波の第1波を識別することができたのは、沖合波浪計としては、下記の10観測点が挙げられた。

紋別南・釧路・十勝・苫小牧・青森・八戸・釜石・石巻・小名浜・鹿島

また、港内検潮所としては、下記の7観測点が挙げられた。

枝幸・霧多布・十勝・久慈・釜石・石巻・鹿島

②第1波は明確ではなかったが津波波形の識別はできた観測点は、沖合波浪計としては、下記の13観測点が挙げられた。

石狩新港・留萌・波浮・下田・御前崎・潮岬・室津・高知・上川口・細島・中城湾・平良・石垣

また、港内検潮所としては、下記の20観測点が挙げられた。

瀬棚・岩内・小樽・石狩新港・留萌・羽幌・杓形・根室・浦河・苫小牧東・苫小牧西・白老・森・青森・下田・小松島・宮崎・志布志・中城湾・平良

③常時の長周期水位変動と津波波形を識別できなかった

観測点は、沖合波浪計としては、下記の3観測点が挙げられた。

瀬棚・神威脇・清水

また、港内検潮所としては、下記の2観測点が挙げられた。

江差・奥尻

（2）本津波は、遠地から来襲する津波であったため、伝播経路が複雑かつ多岐であったためだと推定されるが、津波波形到達時刻を明確に特定することは、多くの観測点で困難であった。また、津波による海面の上下変動はほとんどの観測点で非常に長時間継続し、翌日（11月16日）の終日にわたって、津波が継続し、多くの観測点で翌日（11月16日）になってから、最大偏差や最大波高を観測した。

（3）津波の到達時刻を比較すると、もっとも早く津波が到達したナウファス波浪観測点は、釧路港沖合の海象計であり、日本時間11月15日の21:34であった。

（4）釜石港沖合波高計では21:54に、釜石港内検潮所では21:57に津波の第1波到達を観測したが、これは、津波がオホーツク海沿岸の紋別（南）沖海象計（22:15）や枝幸検潮所（22:32）に到達するよりかなり早かった。これは、津波の伝播速度は、水深が深いほど速いため、太平洋沿岸の海溝を伝播する津波は、千島列島をオホーツク海側へ回りこんで伝播した津波よりも、より伝播速度が速かったためである。

（5）第1波の偏差が10cmを超えた観測点は、ナウファス沖合波浪計としては、紋別（南）、八戸、釜石の3観測点であり、ナウファス港内検潮所としては、枝幸、霧多布、十勝、久慈、釜石、石巻の6観測点であった。

（6）最大偏差が10cmを超えた観測点は、ナウファス沖合波浪計としては、第1波の偏差が10cmを超えた紋別（南）、八戸、釜石の3観測点に加えて、釧路、十勝、石巻、小名浜、鹿島、下田、室津、上川口の8観測点を数え、ナウファス港内検潮所としては、第1波の偏差が10cmを超えた枝幸、霧多布、十勝、久慈、釜石、石巻の6観測点に加え、石狩新港、留萌、羽幌、杓形、根室、浦河、苫小牧東、苫小牧西、白老、森、鹿島、下田、宮崎、志布志、平良の15観測点を数え、北海道沿岸から沖縄沿岸に至る広範な沿岸で顕著な津波偏差が見られた。

（7）沖合波浪計と港内検潮所の両観測点で第1波到達から津波を明確に検知できたのは、十勝、釜石、石巻、鹿島の4港であった。これらの港湾では、2003年十勝沖地震津波の際と、ほぼ同様の増幅事象を確認することができた。

(8) これら4港の津波波形観測記録についてゼロアップクロス法による波別波形解析を試みた。いずれの港湾でも、津波の継続時間はきわめて長く、最大の偏差・波高が観測されたのは第1波到達後数時間経過してからの翌11月16日になってからであった。津波の周期も、個別波毎に大きく異なり、1時間を越える個別波から数分間の個別波まで、きわめて多様であった。

(9) これら4港の津波波形観測記録についてスペクトル解析を試みた。いずれの港湾でも、スペクトル形状は多峰型であったが、周期30分以上の長周期成分は時間の経過とともに減衰傾向が見られた。これに対して、周期の相対的に短い港湾周辺海底地形に伴うと考えられる周波数におけるピークは減衰が遅かった。これは、時間の経過と共に、多くの観測点で津波周期が徐々に短くなったゼロアップクロス法による解析結果とよく対応したものであった。

6. おわりに

平成18年千島列島沖の地震に伴う津波波形が観測されてから、約2.5か月間という短い期間内に、本報で紹介する各観測所における津波特性をとりまとめることができたのは、多くの方々のご尽力によるものである。

国土交通省港湾局関係機関および沖縄総合事務局港湾関係部局では、ナウファス波浪計や港内検潮器による観測網の構築・運営をご担当されるにあたって、データの品質維持のため、常日頃から観測機器のメンテナンスに全力を払われており、こうしたご努力が、津波来襲時における良好な観測データ取得につながったものである。ご担当官の方々、および海象観測機器の全国統一基準に基づくメンテナンス実施を担当されている(社)海洋調査協会の関係の皆様にも、改めて感謝したい。

また、本報では、海上保安庁海洋情報部および気象庁による港内検潮データも、あわせて紹介させていただいた。快くデータのご提供をいただいたこれらの機関のご担当の方々にも、あわせて謝意を表す。

観測データのとりまとめにあたっては、短期間のうちに、(財)沿岸開発技術研究センター波浪情報部、(株)エコー、沿岸海洋調査(株)の担当の協力を得て、データベースおよび図表集にまとめることができた。

本資料が、今後の津波研究に寄与することを祈りつつ、これら多くの関係の方々に、改めて感謝いたします。

追記. 2007年1月13日千島列島東方の地震津波

本資料のとりまとめが、ほぼまとまりつつあった日本

時間2007年1月13日13:23に、千島列島東方で新たな地震が発生し、津波高さは相対的に低かったものの、全国沿岸で津波波形が観測された。

東京大学地震研究所²⁴⁾によると、地震の揺れから算定されたマグニチュードは8.2、震源は千島列島の太平洋側沖合の北緯46.288度、東経154.448度、深さ10kmとのものであった。気象庁からのこの地震津波に関する発表としては、1月13日の15:00と18:30に、それぞれ第1報と第2報が発表されている。マグニチュードとしては第1報では速報値8.3が発表された後に、第2報で8.2に修正されている。震源位置については図面上で示しただけであり正確な緯度経度の発表は、なされていない。米国気象海洋庁(NOAA)の太平洋津波警戒センター(<http://www.prh.noaa.gov>)のweb-siteではこの地震および津波観測結果が紹介されており、津波は、2006年11月15日の地震津波(以下に本報津波と呼ぶ)よりは低かったものの、やはりハワイ諸島、アラスカを含む北米・中米・南米の太平洋沿岸で観測されたことが紹介されている。なお、NOAAの発表では、震源位置は北緯46.7度、東経154.4度とされており、東大地震研の発表よりわずかながら震源が北にずれている。

こうした新たな地震津波が発生し、広範な観測所で津波波形が観測されたため、本資料では、今後の津波研究により一層資することを目的として、付録として、2007年千島列島東方の地震津波波形記録(以下に追記津波と呼ぶ)に関しても、紹介することとした。

付図Dは、追記津波を本報津波と比較するため、付図Aと同様の整理を行ったものであり、付図Aで顕著な津波波形が確認された、釧路沖(海象計)、霧多布(港内)、十勝沖(海象計)、十勝港(港内)、釜石沖(波高計)、釜石港(港内)、石巻沖(海象計)、石巻港(港内)、鹿島沖(波高計)、鹿島港(港内)における潮位変動除去前後の津波波形記録を紹介した。

付図Dだけでは、横軸が縮小されすぎており、津波の周期特性がわかりにくいいため、付図BおよびCに対応する付図EおよびFとして、地震発生直前の11月15日20:00から翌16日の10:00までの14時間について、横軸を広げて表示した図を、あわせて添付する。ここに、付図Eは沖合波浪計における津波波形抽出記録を示し、付図Fは港内検潮所における津波波形抽出記録を示している。

追記津波と本報津波との比較を容易とするため、付図D、E、Fの縦軸と横軸のスケールは、付図A、B、Cと、それぞれ一致させている。

付表Gは、追記津波に関して本報津波と同様なゼロア

ップクロス波形解析を行った結果をとりまとめたものであり、本文中の表-3.3に対応するものである。

追記津波の特性をまとめると、以下のとおりとなる。

(1) 本報津波で観測波形記録を収集整理した沖合波浪計 26 観測点、港内検潮所 29 観測点における追記津波波計記録を整理した結果、津波波形の検出状況は、以下のとおりであった。ただし、奥尻検潮所においては、この期間中欠測となっていたため、潮位観測記録整理地点数は、28 であった。

①顕著な津波波形が観測された観測点

観測波形記録から津波の第 1 波を識別することができたのは、沖合波浪計としては、下記の 6 観測点が挙げられた。

十勝・八戸・釜石・石巻・小名浜・鹿島

また、港内検潮所としては、下記の 8 観測点が挙げられた。

枝幸・根室・霧多布・十勝・久慈・釜石・石巻・鹿島

②第 1 波は明確ではなかったが津波波形の識別はできた観測点は、沖合波浪計としては、下記の 12 観測点が挙げられた。

紋別(南)・釧路・苫小牧・青森・波浮・下田・清水・御前崎・潮岬・室津・高知・上川口

また、港内検潮所としては、下記の 15 観測点が挙げられた。

江差・瀬棚・岩内・小樽・石狩新港・留萌・羽幌・杵形・浦河・苫小牧東・苫小牧西・白老・森・青森・下田

③常時の長周期水位変動と津波波形を識別できなかった観測点は、沖合波浪計としては、下記の 8 観測点が挙げられた。

瀬棚・神威脇・石狩新港・留萌・細島・中城湾・平良沖・石垣沖

また、港内検潮所としては、下記の 5 観測点が挙げられた。

小松島・宮崎・志布志・中城湾・平良

(2) 追記津波は、本報津波と同様に、津波波形到達時刻を明確に特定することは、多くの観測点で困難であった反面、津波による海面の上下変動はほとんどの観測点で非常に長時間継続し、地震発生後半日程度経過した後に、多くの観測点で最大偏差や最大波高を観測した。

(3) ゼロアップクロス法による波別波形解析を試みた結果、追記津波の偏差や波高は、本報津波よりも低く、最大偏差あるいは最大波高としては、多くの観測点で 1/2 から 1/3 程度であった。しかし、津波の周期は、本報津波とよく類似しており、個別波毎に大きく異なり、1 時間を越える個別波から数分間の個別波まで、きわめて多

様であった。

(4) 観測津波波形記録に周期 1 時間以上の長周期成分が含まれていたことは、追記津波を発生させた地震規模は、本報津波と同等かそれ以上のものであり、津波ソースとなる初期波源域は、本報津波と同等かそれ以上の拡がりを持っていたことを示している。しかし反面、断層の傾斜角度の相違であると推定されるが津波ソースとなる初期波源変位量は小さかったことが推定される。

(5) こうした観測事実をふまえると、津波の監視にあたっては、地震規模だけを見ては不十分であり、波形記録のモニタリングが必要であることが、改めて示されたものと考えられる。

(原稿提出：平成 19 年 1 月 31 日)

参考文献

- 1) 永井紀彦・橋本典明・浅井正：平成 5 年北海道南西沖地震津波波形記録解析速報，港研報告第 32 巻第 4 号，pp.51-97，1993.
- 2) 永井紀彦・橋本典明・平石哲也・清水勝義：平成 6 年（1994 年）北海道東方沖地震津波の特性，港研資料 No.802，97p.，1995.
- 3) 小舟浩治・永井紀彦・橋本典明・平石哲也・清水勝義：1996 年イリアンジャヤ地震津波の特性，港研資料 No.842，96p.，1996.
- 4) 永井紀彦・小川英明：平成 15 年（2003 年）十勝沖地震津波波形の特性，港湾空港技術研究所資料 No.1070，92p.，2004.
- 5) 永井紀彦・里見茂：2004 年東海道沖地震津波の観測結果，港湾空港技術研究所資料 No.1096，22p.，2005.
- 6) 永井紀彦・里見茂：2005 年宮城県沖の地震津波の観測結果，港湾空港技術研究所資料 No.1119，35p.，2006.
- 7) 合田良実監修，海象観測データの解析・活用に関する研究会編集：波を測る（沿岸波浪観測の手引き），（財）沿岸技術研究センター，212p.，2001.
- 8) 合田良実監修，海象観測データの解析・活用に関する研究会編集：潮位を測る（潮位観測の手引き），（財）沿岸技術研究センター，188p.，2002.
- 9) 永井紀彦：ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）による我国沿岸の波浪特性の解明，港研資料 No.863，113p.，1997.
- 10) 永井紀彦：ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）の現況と今後の課題，土木学会論文集巻頭論文（技術展望），第 609 号 VI-41，pp.1-14，1998.
- 11) 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・佐藤和敏・菅原一

- 晃：ナウファスの連続観測化による我国沿岸の長周期波の観測，港湾技術研究所報告第 38 巻第 1 号，pp.29-69，1999.
- 12) 永井紀彦・小川英明・寺田幸博・加藤照之・久高将信：GPSブイによる沖合の波浪・津波・潮位観測，海岸工学論文集第 50 巻，土木学会，pp.1411-1415，2003.
- 13) 加藤照之・寺田幸博・越村駿一・永井紀彦：GPS津波計による津波観測，月刊海洋，特集号（津波予測），通巻第 309 号，Vol.27，No.3，pp.179-183，2005.
- 14) 永井紀彦・小川英明・額田恭史・久高将信：波浪計ネットワークによる沖合津波観測システムの構築と運用，土木学会，海洋開発論文集第 20 巻，pp.173-178，2004.
- 15) 永井紀彦・里見茂：全国港湾海洋波浪観測年報（NOWPHAS 2004），港研資料 No.1118，89p.，2006.（波浪観測年報は港研資料として 1970 年以降毎年刊行）
- 16) 永井紀彦：全国港湾海洋波浪観測 30 年統計（NOWPHAS 1970-1999），港研資料 No.1034，336p.，2004.（波浪観測年報は港研資料として 1970 年以降毎年刊行）
- 17) 東京大学地震研究所：11 月 15 日千島列島の地震（M8.3），EIC 地震学ノート No.183，東京大学地震研究所，2p.，2006.11.15.（2006.11.17.改訂）
- 18) 岩崎峯夫：デジタルフィルターを用いた津波計，カイジョー技報，Vol.2，No.4，(株)カイジョー，pp.51-58，1996.
- 19) 高山知司・橋本典明・永井紀彦・高橋智晴・佐々木弘：水中ドップラー式波向計(海底設置式波浪計)の開発について，海岸工学論文集第 39 巻，土木学会，pp.176-180，1992
- 20) 橋本典明・永井紀彦・高山知司・高橋智晴・三井正雄・磯部憲雄・鈴木敏夫：水中超音波のドップラー効果を応用した海象計の開発，海岸工学論文集第 42 巻，土木学会，pp.1081-1085，1995
- 21) 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・横井博志・久高将信：現地方向スペクトルに基づく波向き出現特性とその表記，海岸工学論文集第 47 巻，土木学会，pp.1336-1340，2000
- 22) 永井紀彦・菅原一晃・清水康男・高山俊裕・小園みちる：超音波空中発射式潮位計の開発，港湾技研資料 No.998，17p.，2001.
- 23) 岩崎峯夫・永井紀彦・清水勝義・安立重昭：検潮井戸の周波数応答計測システムの開発，土木学会，海岸工学論文集第 53 巻，pp.1416-1420，2006.
- 24) 東京大学地震研究所：1 月 13 日千島列島の地震（M8.2），EIC 地震学ノート No.184，東京大学地震研究所，2p.，2007.1.13.

付録A 潮位変動除去前後の津波波形記録

- (1) 江差 (フース, 北海道開発局)
- (2) 岩内 (フース, 北海道開発局)
- (3) 瀬棚 (波高計, $h=52.9\text{m}$, 北海道開発局)
- (4) 瀬棚 (フース, 北海道開発局)
- (5) 神威脇 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (6) 奥尻 (フース, 北海道開発局)
- (7) 石狩新港 (海象計, $h=22.4\text{m}$ 北海道開発局)
- (8) 石狩新港 (フース, 北海道開発局)
- (9) 小樽 (フース, 北海道開発局)
- (10) 羽幌 (フース, 北海道開発局)
- (11) 留萌 (海象計, $h=49.8\text{m}$, 北海道開発局)
- (12) 留萌 (フース, 北海道開発局)
- (13) 杓形 (フース, 北海道開発局)
- (14) 根室 (フース, 北海道開発局)
- (15) 紋別 (南) (海象計, $h=52.6\text{m}$, 北海道開発局)
- (16) 枝幸 (フース, 北海道開発局)
- (17) 釧路 (海象計, $h=50.1\text{m}$, 北海道開発局)
- (18) 霧多布 (空中発射, 北海道開発局)
- (19) 十勝港沖 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (20) 十勝 (フース, 北海道開発局)
- (21) 苫小牧港沖 (海象計, $h=50.7\text{m}$, 北海道開発局)
- (22) 苫小牧東港 (フース, 北海道開発局)
- (23) 苫小牧西港 (フース, 北海道開発局)
- (24) 白老 (フース, 北海道開発局)
- (25) 浦川 (フース, 海上保安庁)
- (26) 森 (空中発射, 北海道開発局)
- (27) 青森 (波高計, $h=21.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (28) 青森 (フース, 東北地方整備局)
- (29) 八戸港沖 (波高計, $h=27.7\text{m}$, 東北地方整備局)
- (30) 久慈 (フース, 東北地方整備局)
- (31) 釜石港沖 (波高計, $h=49.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (32) 釜石 (フース, 海上保安庁)
- (33) 石巻港沖 (海象計, $h=20.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (34) 石巻 (フース, 東北地方整備局)
- (35) 鹿島 (波高計, $h=24.0\text{m}$, 関東地方整備局)
- (36) 鹿島 (フース, 関東地方整備局)
- (37) 小名浜港沖 (海象計, $h=23.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (38) 波浮 (波高計, $h=48.3\text{m}$, 関東地方整備局)
- (39) 下田 (海象計, $h=51.1\text{m}$, 中部地方整備局)
- (40) 下田 (フース, 中部地方整備局)
- (41) 清水 (海象計, $h=51.8\text{m}$, 中部地方整備局)
- (42) 御前崎 (海象計, $h=22.8\text{m}$, 中部地方整備局)
- (43) 潮岬 (海象計, $h=54.7\text{m}$, 近畿地方整備局)
- (44) 小松島 (フース, 気象庁)
- (45) 室津 (海象計, $h=27.7\text{m}$, 四国地方整備局)
- (46) 高知 (海象計, $h=24.1\text{m}$, 四国地方整備局)
- (47) 上川口 (波高計, $h=27.9\text{m}$, 四国地方整備局)
- (48) 細島 (海象計, $h=48.3\text{m}$, 九州地方整備局)
- (49) 宮崎 (フース, 九州地方整備局)
- (50) 志布志湾 (フース, 九州地方整備局)
- (51) 中城 (海象計, $h=39.6\text{m}$, 沖縄総合事務局)
- (52) 中城 (フース, 沖縄総合事務局)
- (53) 平良 (海象計, $h=44.1\text{m}$, 沖縄総合事務局)
- (54) 平良 (フース, 沖縄総合事務局)
- (55) 石垣沖 (海象計, $h=39.8\text{m}$, 沖縄総合事務局)

付録B 各観測点における沖合津波波形記録集

以下の地点における観測波形記録の整理を行った。

- (1) 神威脇 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (2) 瀬棚 (波高計, $h=52.9\text{m}$, 北海道開発局)
- (3) 石狩新港 (海象計, $h=22.4\text{m}$, 北海道開発局)
- (4) 留萌 (海象計, $h=49.8\text{m}$, 北海道開発局)
- (5) 紋別 (南) (海象計, $h=52.6\text{m}$, 北海道開発局)
- (6) 釧路 (海象計, $h=50.1\text{m}$, 北海道開発局)
- (7) 十勝港沖 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (8) 苫小牧港沖 (海象計, $h=50.7\text{m}$, 北海道開発局)
- (9) 青森 (波高計, $h=21.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (10) 八戸港沖 (波高計, $h=27.7\text{m}$, 東北地方整備局)
- (11) 釜石港沖 (波高計, $h=49.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (12) 石巻港沖 (海象計, $h=20.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (13) 小名浜港沖 (海象計, $h=23.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (14) 鹿島 (波高計, $h=24.0\text{m}$, 関東地方整備局)
- (15) 波浮 (波高計, $h=48.3\text{m}$, 関東地方整備局)
- (16) 下田 (海象計, $h=51.1\text{m}$, 中部地方整備局)
- (17) 清水 (海象計, $h=51.8\text{m}$, 中部地方整備局)
- (18) 御前崎 (海象計, $h=22.8\text{m}$, 中部地方整備局)
- (19) 潮岬 (海象計, $h=54.7\text{m}$, 近畿地方整備局)
- (20) 室津 (海象計, $h=27.7\text{m}$, 四国地方整備局)
- (21) 高知 (海象計, $h=24.1\text{m}$, 四国地方整備局)
- (22) 上川口 (波高計, $h=27.9\text{m}$, 四国地方整備局)
- (23) 細島 (海象計, $h=48.3\text{m}$, 九州地方整備局)
- (24) 中城 (海象計, $h=39.6\text{m}$, 沖縄総合事務局)
- (25) 平良 (海象計, $h=44.1\text{m}$, 沖縄総合事務局)
- (26) 石垣沖 (海象計, $h=39.8\text{m}$, 沖縄総合事務局)

付録C 各観測点における港内津波波形記録集

以下の地点における観測波形記録の整理を行った。

- (1) 江差 (フース, 北海道開発局)
- (2) 奥尻 (フース, 北海道開発局)
- (3) 瀬棚 (フース, 北海道開発局)
- (4) 岩内 (フース, 北海道開発局)
- (5) 小樽 (フース, 北海道開発局)
- (6) 石狩新港 (フース, 北海道開発局)
- (7) 留萌 (フース, 北海道開発局)
- (8) 羽幌 (フース, 北海道開発局)
- (9) 杓形 (フース, 北海道開発局)
- (10) 枝幸 (フース, 北海道開発局)
- (11) 根室 (フース, 北海道開発局)
- (12) 霧多布 (空中発射, 北海道開発局)
- (13) 十勝 (フース, 北海道開発局)
- (14) 浦川 (フース, 海上保安庁)
- (15) 苫小牧東港 (フース, 北海道開発局)
- (16) 苫小牧西港 (フース, 北海道開発局)
- (17) 白老 (フース, 北海道開発局)
- (18) 森 (空中発射, 北海道開発局)
- (19) 青森 (フース, 東北地方整備局)
- (20) 久慈 (フース, 東北地方整備局)
- (21) 釜石 (フース, 海上保安庁)
- (22) 石巻 (フース, 東北地方整備局)
- (23) 鹿島 (フース, 関東地方整備局)
- (24) 下田 (フース, 中部地方整備局)
- (25) 小松島 (フース, 気象庁)
- (26) 宮崎 (フース, 九州地方整備局)
- (27) 志布志湾 (フース, 九州地方整備局)
- (28) 中城 (フース, 沖縄総合事務局)
- (29) 平良 (フース, 沖縄総合事務局)

付録D 2007年津波の潮位変動除去前後の津波波
形記録

- (1) 釧路 (海象計, $h=50.1\text{m}$, 北海道開発局)
- (2) 霧多布 (空中発射, 北海道開発局)
- (3) 十勝港沖 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (4) 十勝 (フース, 北海道開発局)
- (5) 釜石港沖 (波高計, $h=49.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (6) 釜石 (フース, 海上保安庁)
- (7) 石巻港沖 (海象計, $h=20.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (8) 石巻 (フース, 東北地方整備局)
- (9) 鹿島 (波高計, $h=24.0\text{m}$, 関東地方整備局)
- (10) 鹿島 (フース, 関東地方整備局)

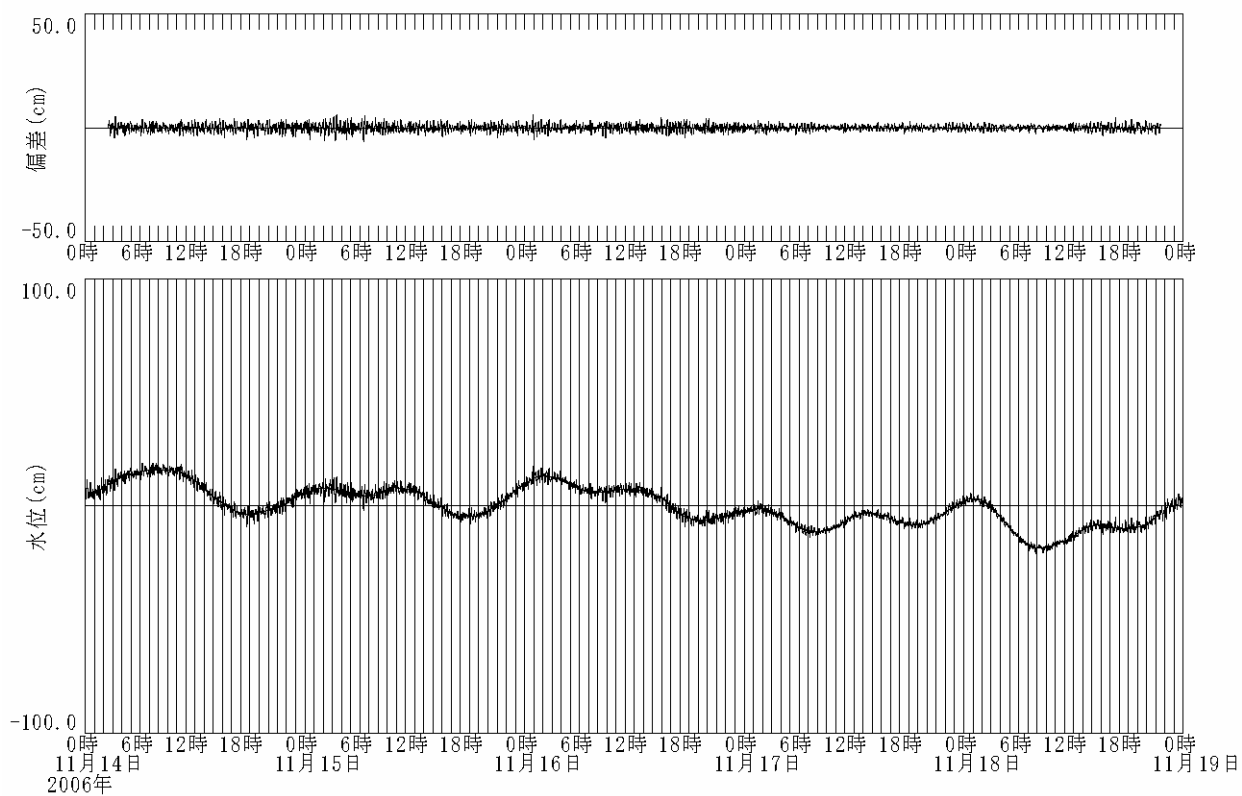
付録E 2007年津波の津波波形 (沖合波浪計)

- (1) 神威脇 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (2) 瀬棚 (波高計, $h=52.9\text{m}$, 北海道開発局)
- (3) 石狩新港 (海象計, $h=22.4\text{m}$, 北海道開発局)
- (4) 留萌 (海象計, $h=49.8\text{m}$, 北海道開発局)
- (5) 紋別 (南) (海象計, $h=52.6\text{m}$, 北海道開発局)
- (6) 釧路 (海象計, $h=50.1\text{m}$, 北海道開発局)
- (7) 十勝港沖 (海象計, $h=23.0\text{m}$, 北海道開発局)
- (8) 苫小牧港沖 (海象計, $h=50.7\text{m}$, 北海道開発局)
- (9) 青森 (波高計, $h=21.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (10) 八戸港沖 (波高計, $h=27.7\text{m}$, 東北地方整備局)
- (11) 釜石港沖 (波高計, $h=49.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (12) 石巻港沖 (海象計, $h=20.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (13) 小名浜港沖 (海象計, $h=23.8\text{m}$, 東北地方整備局)
- (14) 鹿島 (波高計, $h=24.0\text{m}$, 関東地方整備局)
- (15) 波浮 (波高計, $h=48.3\text{m}$, 関東地方整備局)
- (16) 下田 (海象計, $h=51.1\text{m}$, 中部地方整備局)
- (17) 清水 (海象計, $h=51.8\text{m}$, 中部地方整備局)
- (18) 御前崎 (海象計, $h=22.8\text{m}$, 中部地方整備局)
- (19) 潮岬 (海象計, $h=54.7\text{m}$, 近畿地方整備局)
- (20) 室津 (海象計, $h=27.7\text{m}$, 四国地方整備局)
- (21) 高知 (海象計, $h=24.1\text{m}$, 四国地方整備局)
- (22) 上川口 (波高計, $h=27.9\text{m}$, 四国地方整備局)
- (23) 細島 (海象計, $h=48.3\text{m}$, 九州地方整備局)
- (24) 中城 (海象計, $h=39.6\text{m}$, 沖縄総合事務局)
- (25) 平良 (海象計, $h=44.1\text{m}$, 沖縄総合事務局)
- (26) 石垣沖 (海象計, $h=39.8\text{m}$, 沖縄総合事務局)

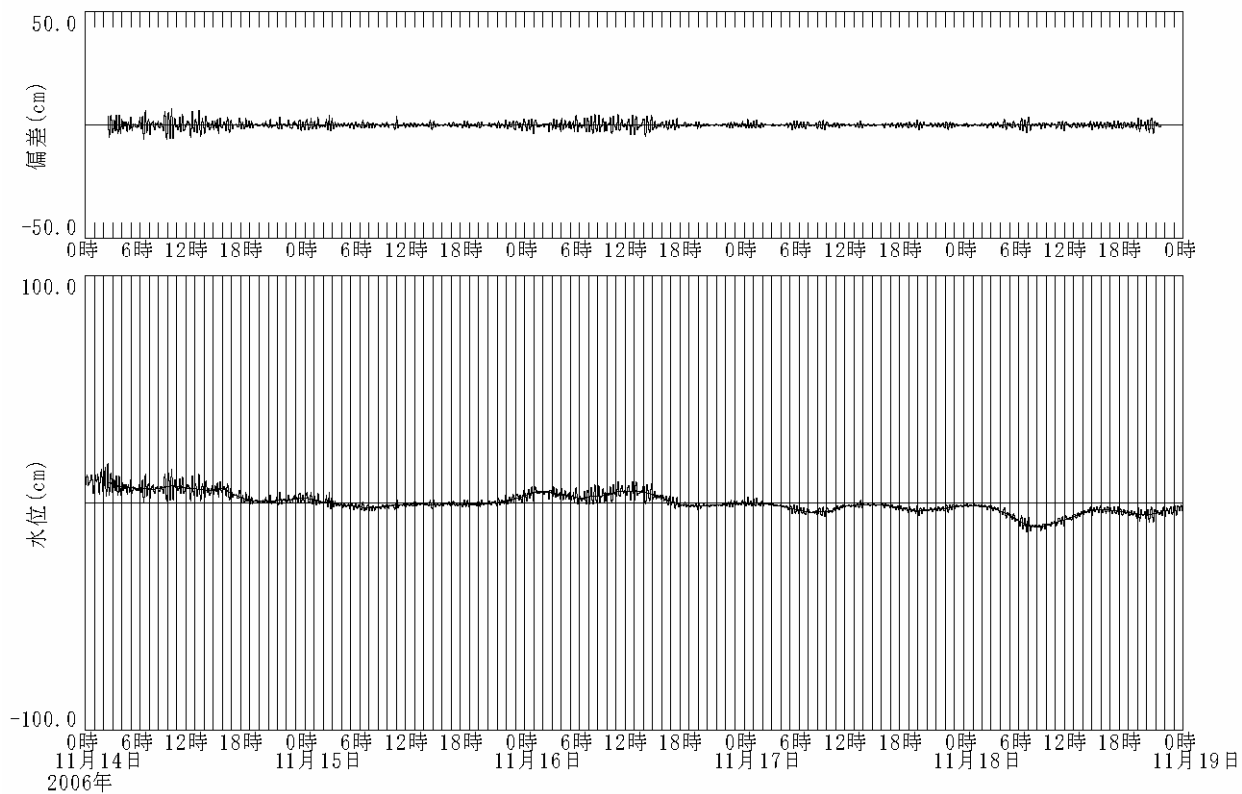
付録 F 2007 年津波の津波波形（港内検潮所）

付録 G 2007 年津波のゼロアップクロス解析結果

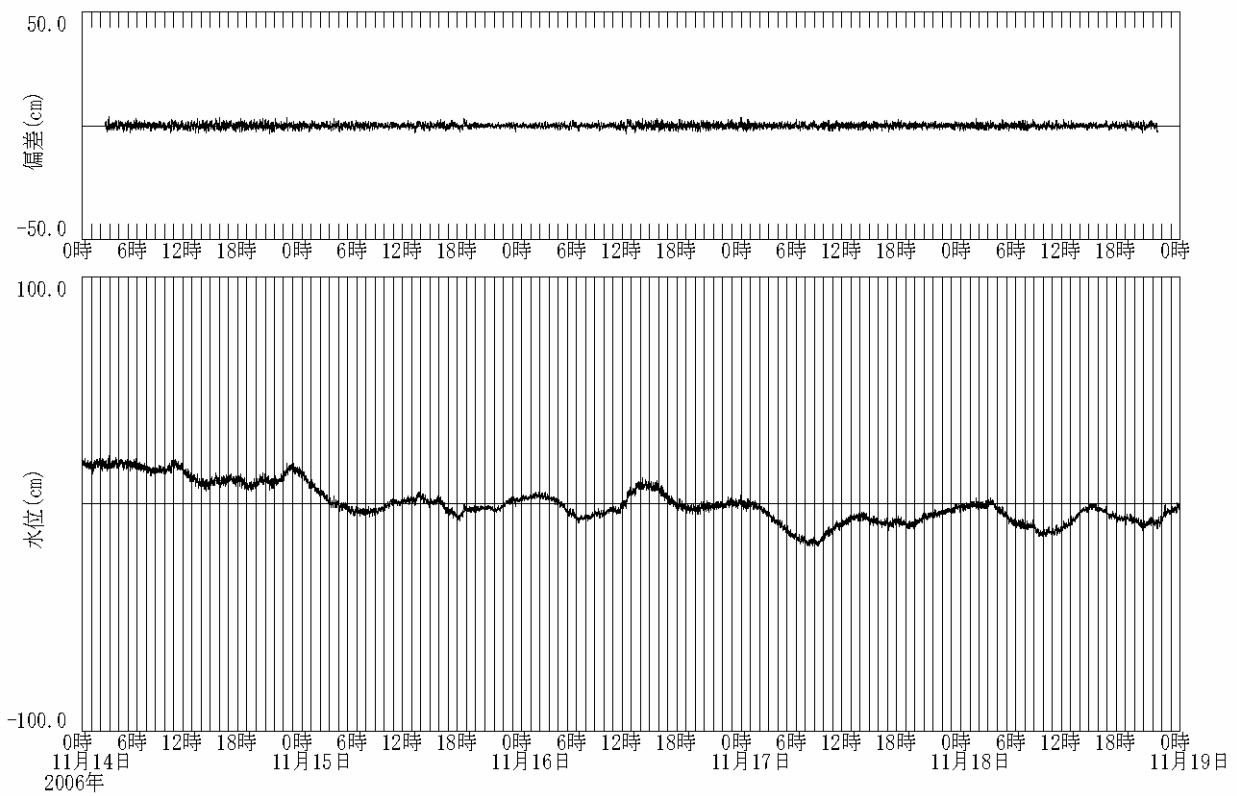
- (1) 江差（フース，北海道開発局）
- (2) 奥尻（フース，北海道開発局）
- (3) 瀬棚（フース，北海道開発局）
- (4) 岩内（フース，北海道開発局）
- (5) 小樽（フース，北海道開発局）
- (6) 石狩新港（フース，北海道開発局）
- (7) 留萌（フース，北海道開発局）
- (8) 羽幌（フース，北海道開発局）
- (9) 杓形（フース，北海道開発局）
- (10) 枝幸（フース，北海道開発局）
- (11) 根室（フース，北海道開発局）
- (12) 霧多布（空中発射，北海道開発局）
- (13) 十勝（フース，北海道開発局）
- (14) 浦川（フース，海上保安庁）
- (15) 苫小牧東港（フース，北海道開発局）
- (16) 苫小牧西港（フース，北海道開発局）
- (17) 白老（フース，北海道開発局）
- (18) 森（空中発射，北海道開発局）
- (19) 青森（フース，東北地方整備局）
- (20) 久慈（フース，東北地方整備局）
- (21) 釜石（フース，海上保安庁）
- (22) 石巻（フース，東北地方整備局）
- (23) 鹿島（フース，関東地方整備局）
- (24) 下田（フース，中部地方整備局）
- (25) 小松島（フース，気象庁）
- (26) 宮崎（フース，九州地方整備局）
- (27) 志布志湾（フース，九州地方整備局）
- (28) 中城（フース，沖縄総合事務局）
- (29) 平良（フース，沖縄総合事務局）



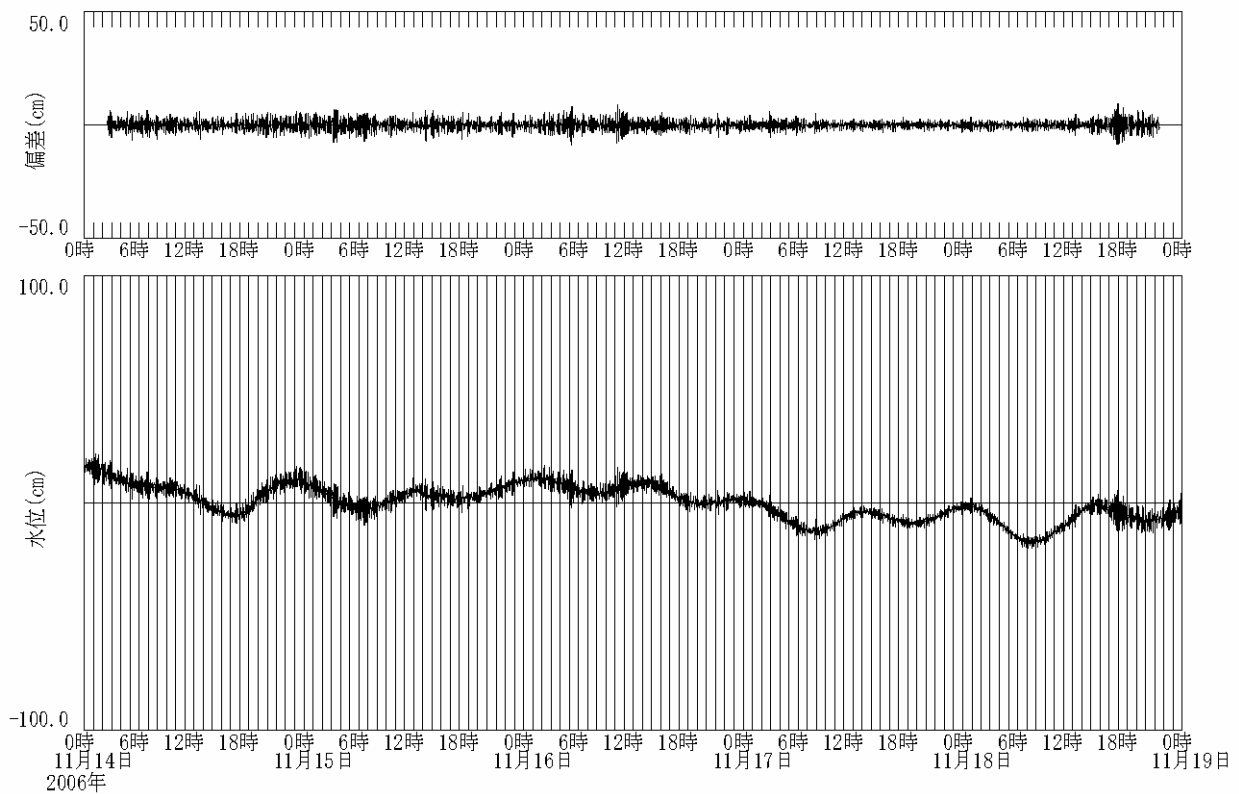
付図A-1 潮位変動除去前後の津波波形記録（江差：フース、北海道開発局）



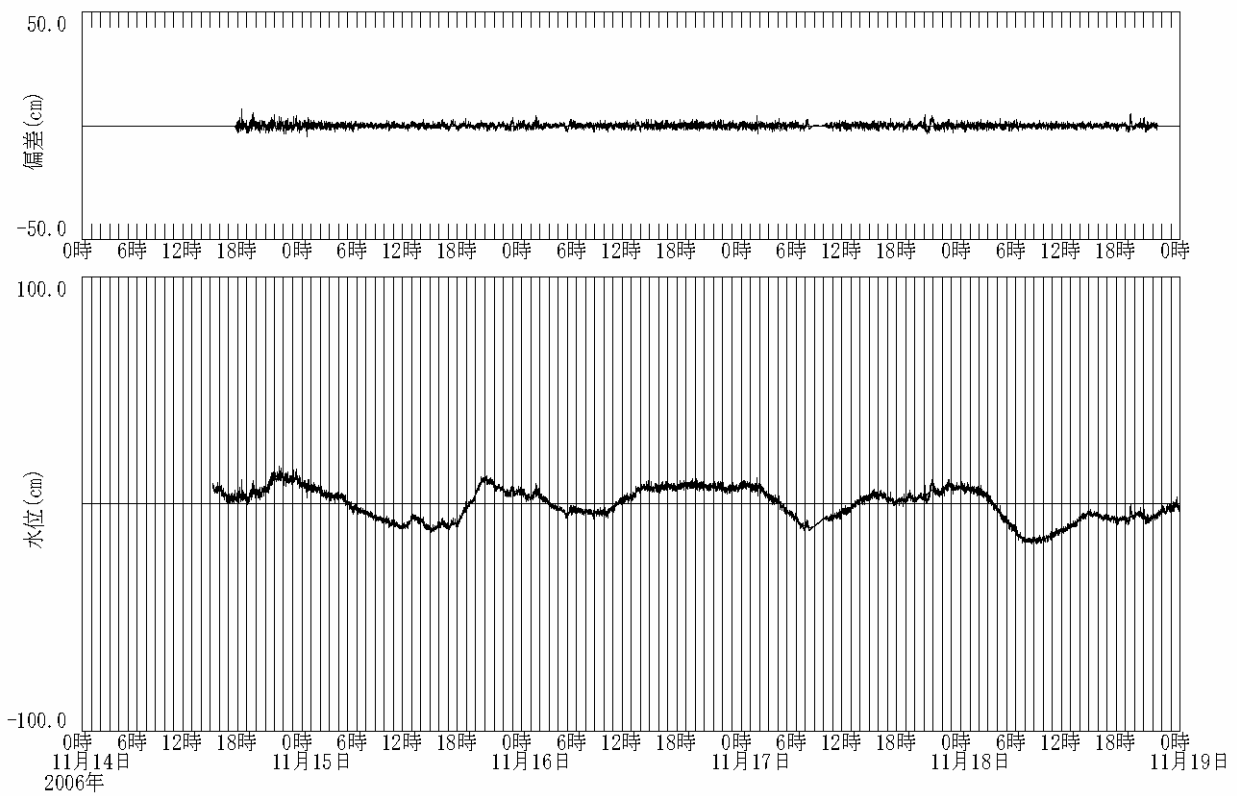
付図A-2 潮位変動除去前後の津波波形記録（岩内：フース、北海道開発局）



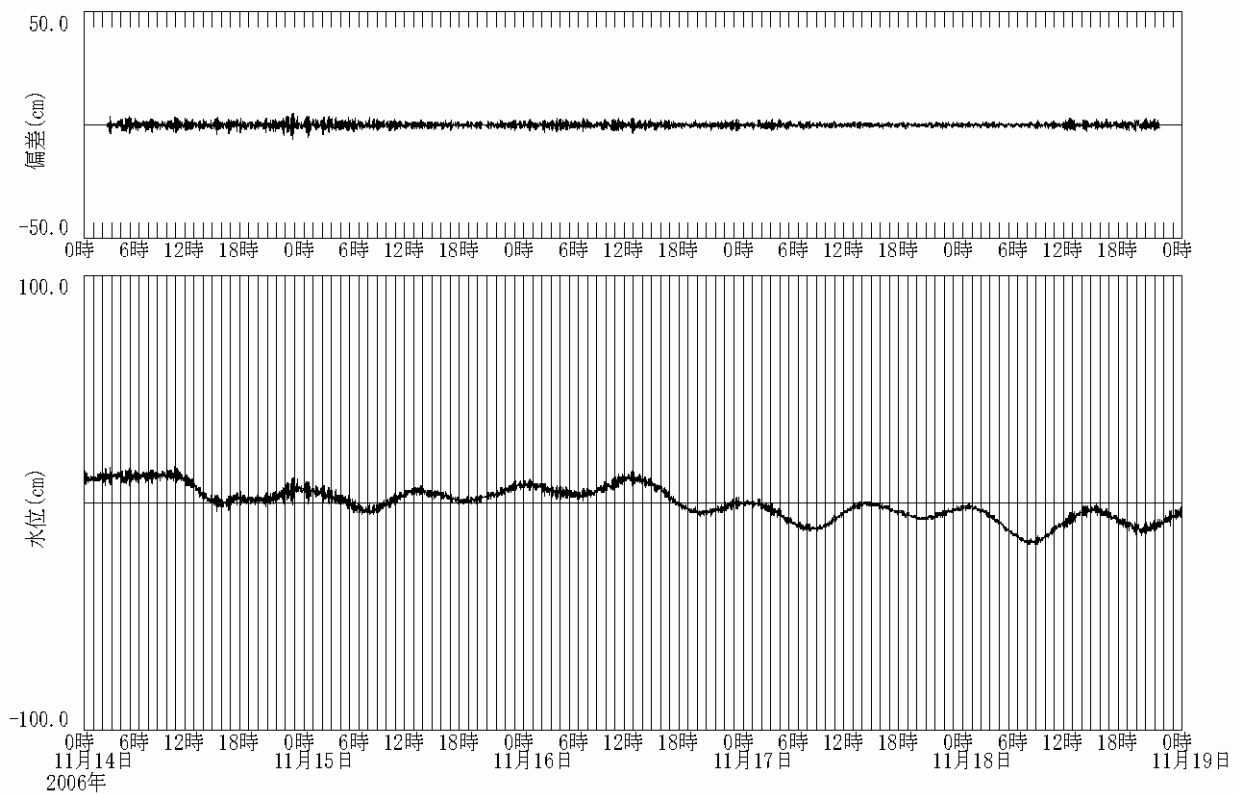
付図A-3 潮位変動除去前後の津波波形記録（瀬棚：波高計、h=52.9m、北海道開発局）



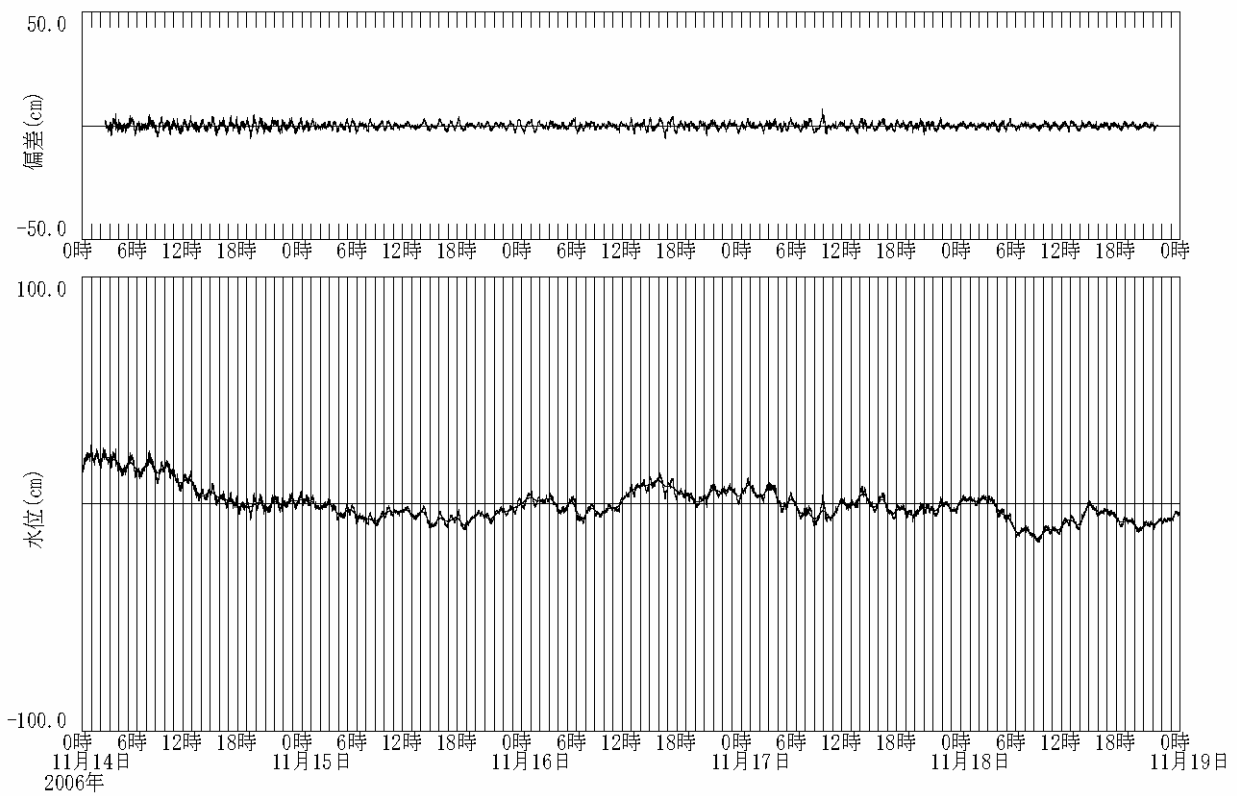
付図A-4 潮位変動除去前後の津波波形記録（瀬棚：フース、北海道開発局）



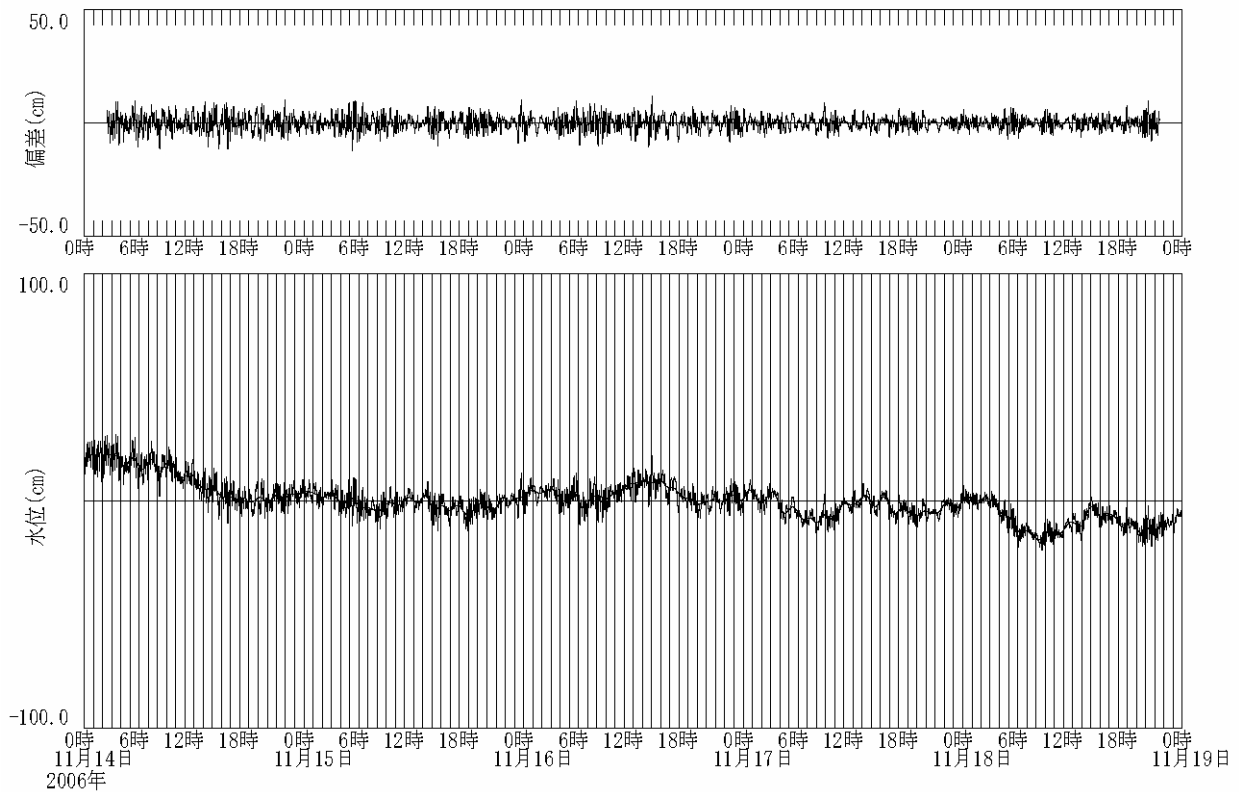
付図A-5 潮位変動除去前後の津波波形記録（神威脇：海象計、h=23.0m、北海道開発局）



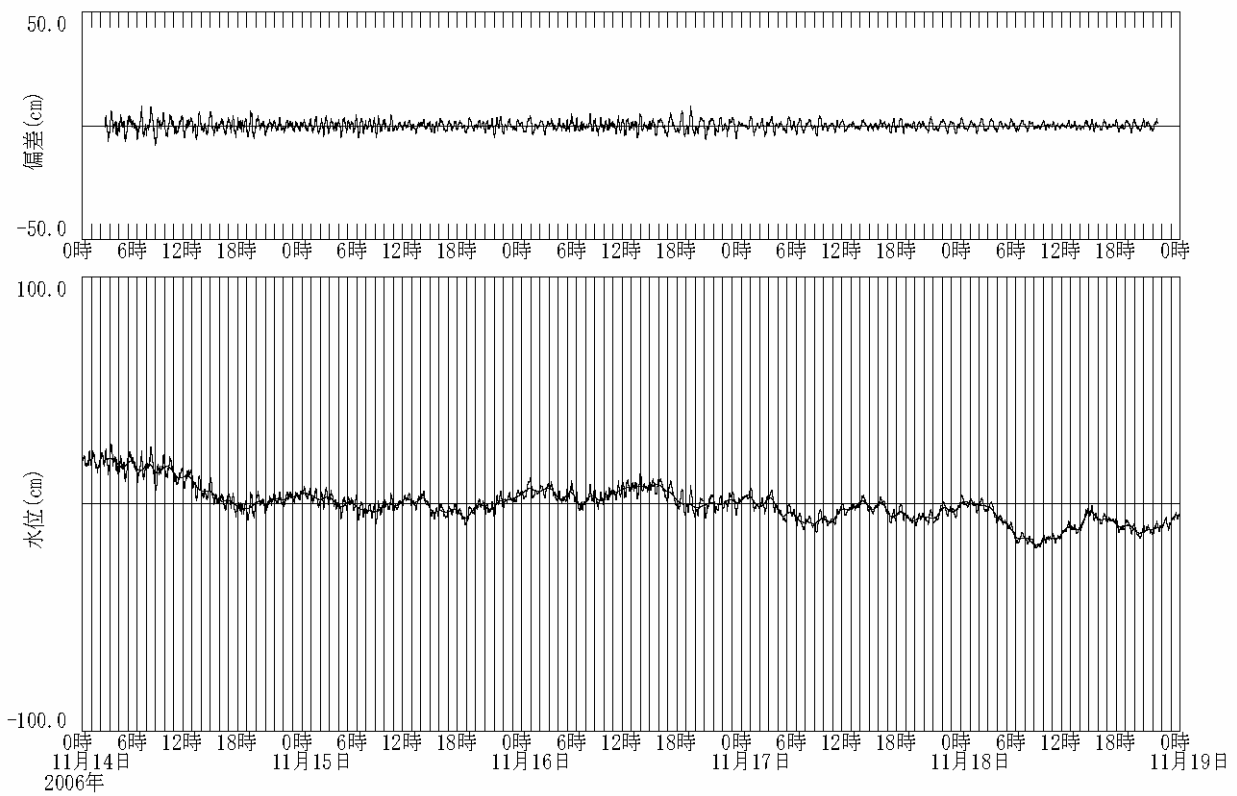
付図A-6 潮位変動除去前後の津波波形記録（奥尻：フース、北海道開発局）



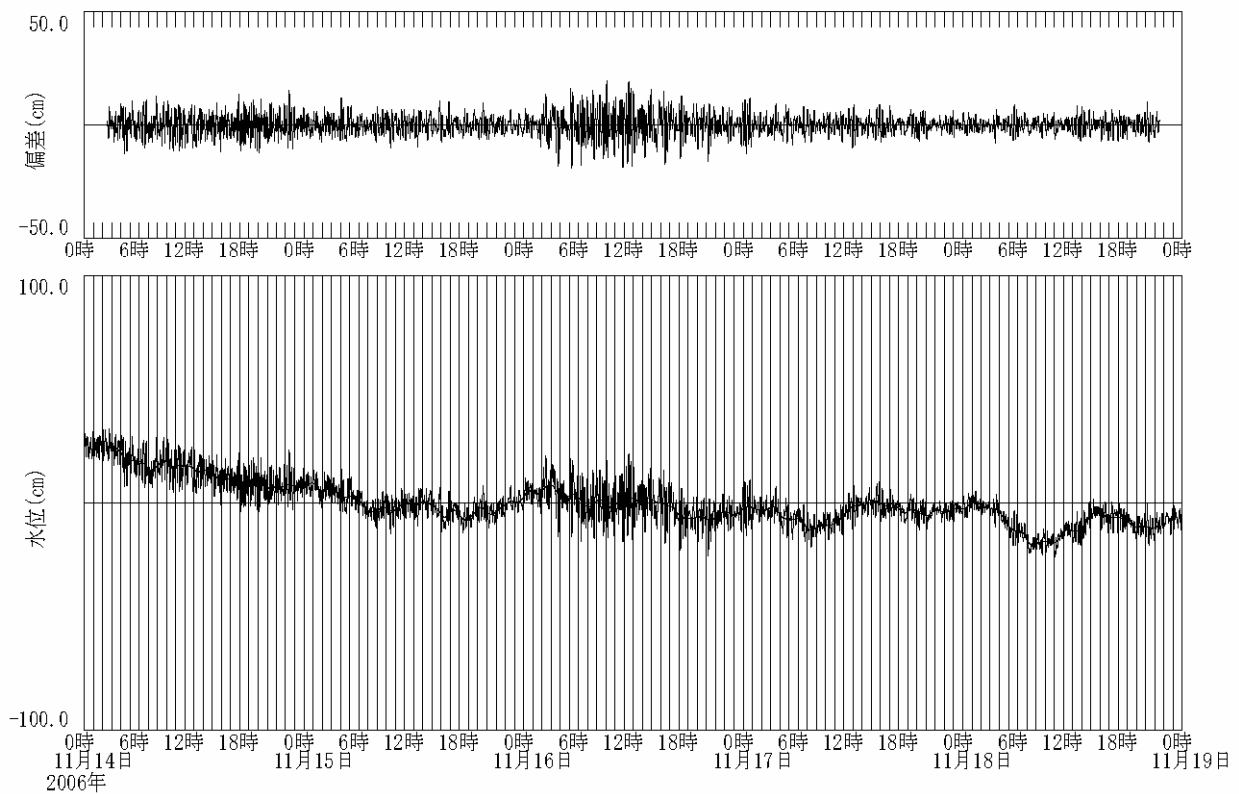
付図A-7 潮位変動除去前後の津波波形記録（石狩新港：海象計、h=22.4m北海道開発局）



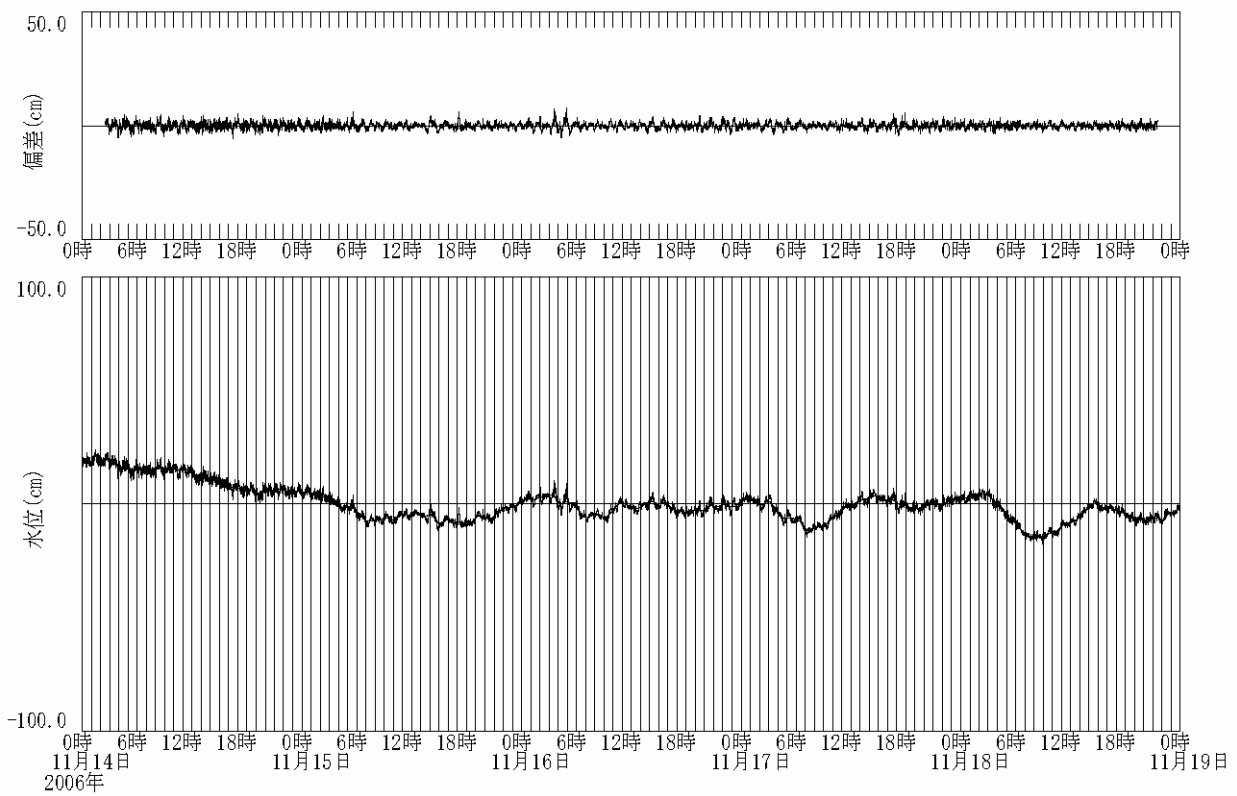
付図A-8 潮位変動除去前後の津波波形記録（石狩新港：フース、北海道開発局）



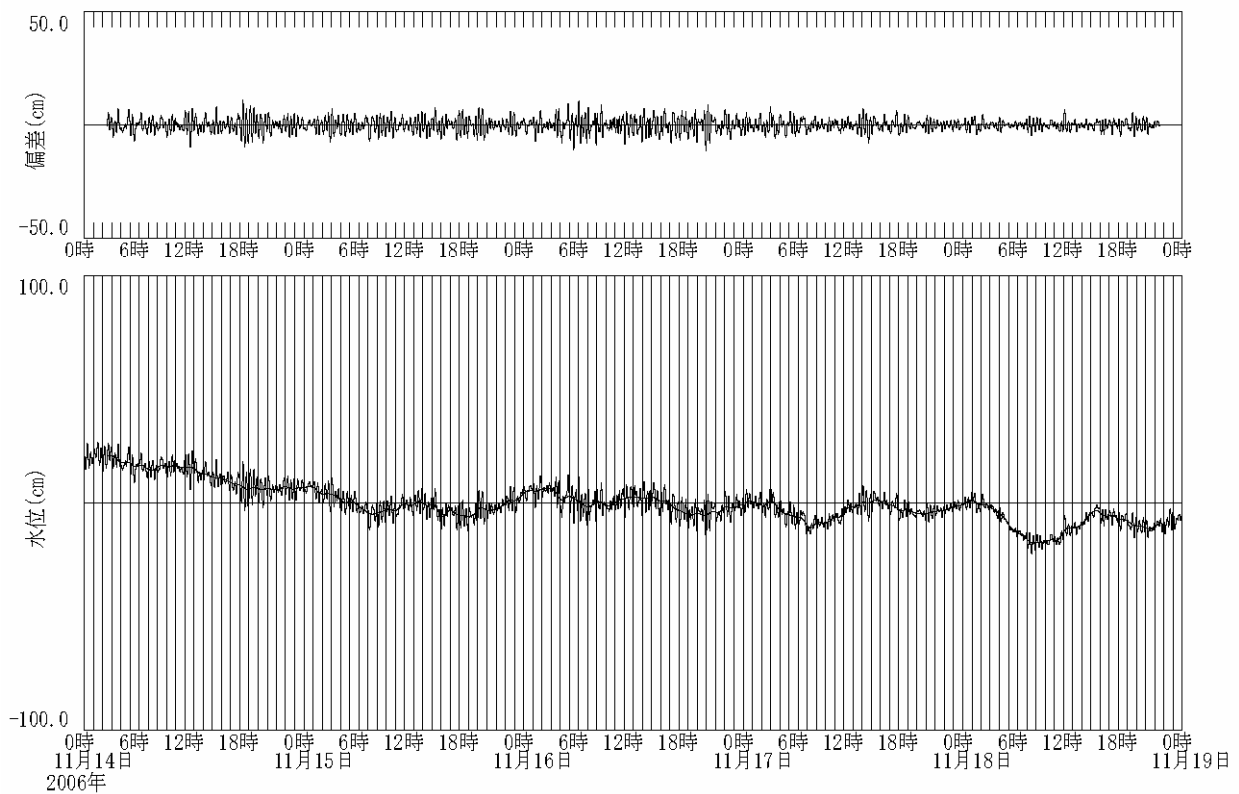
付図A-9 潮位変動除去前後の津波波形記録（小樽：フース、北海道開発局）



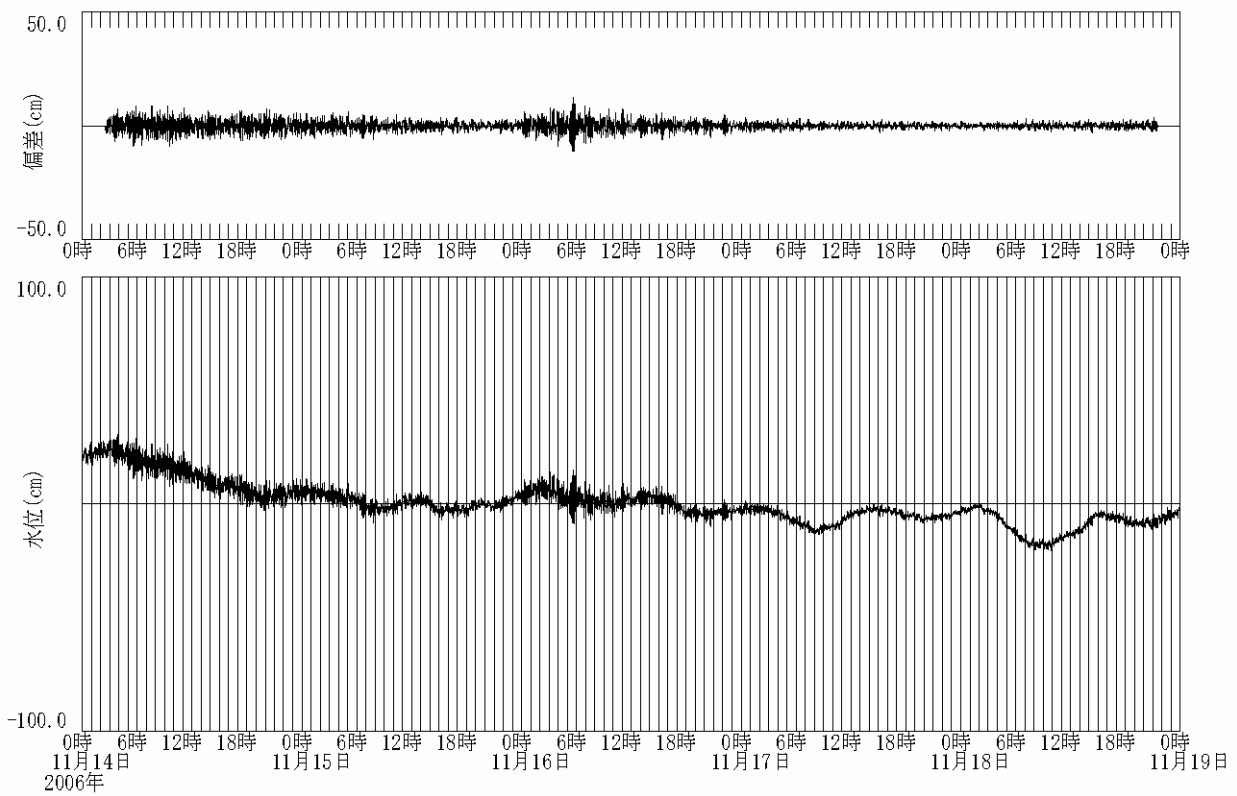
付図A-10 潮位変動除去前後の津波波形記録（羽幌：フース、北海道開発局）



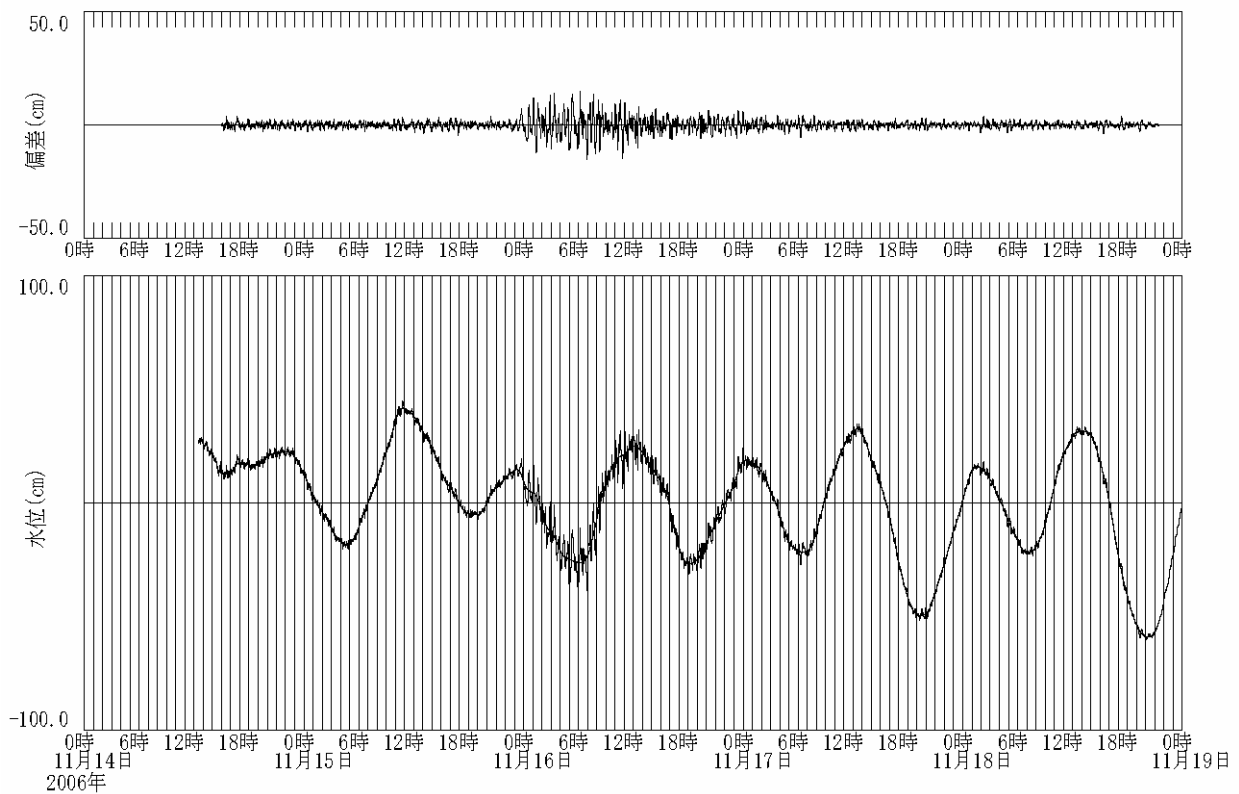
付図A-11 潮位変動除去前後の津波波形記録（留萌：海象計、h=49.8m、北海道開発局）



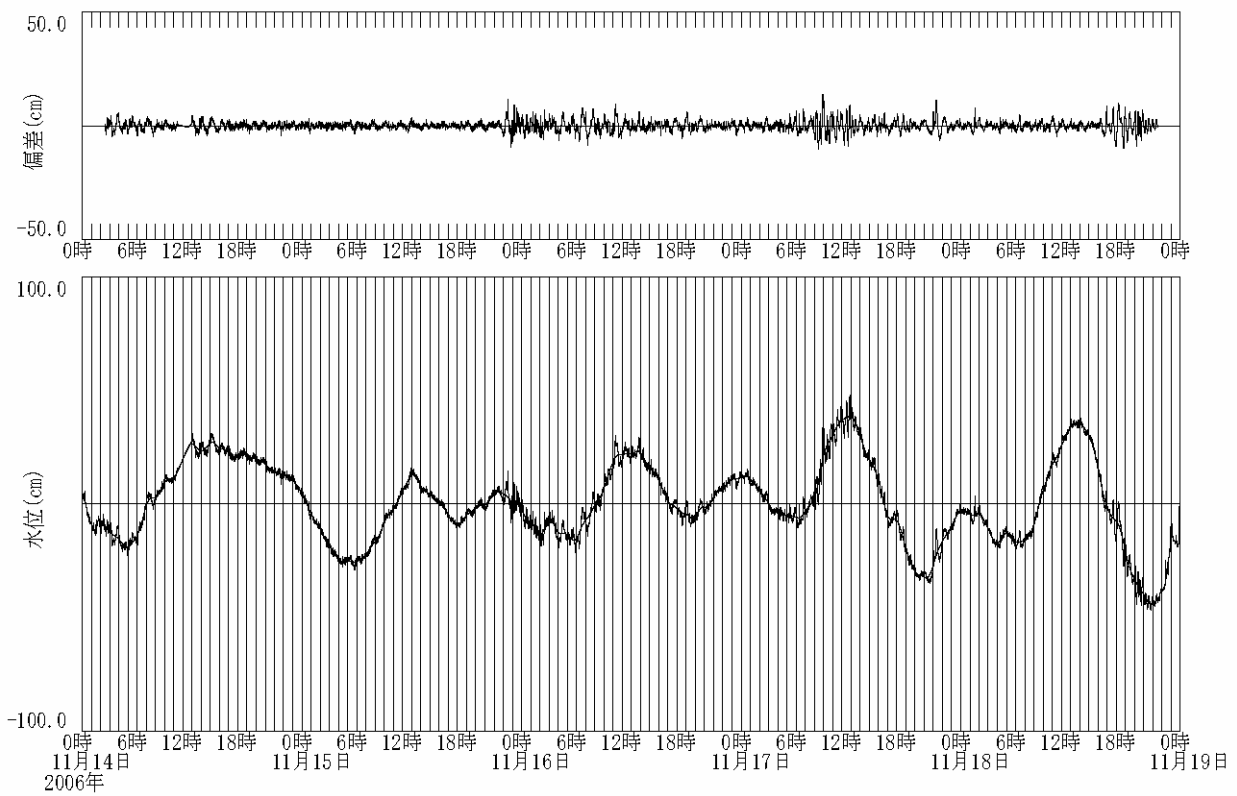
付図A-12 潮位変動除去前後の津波波形記録（留萌：フース、北海道開発局）



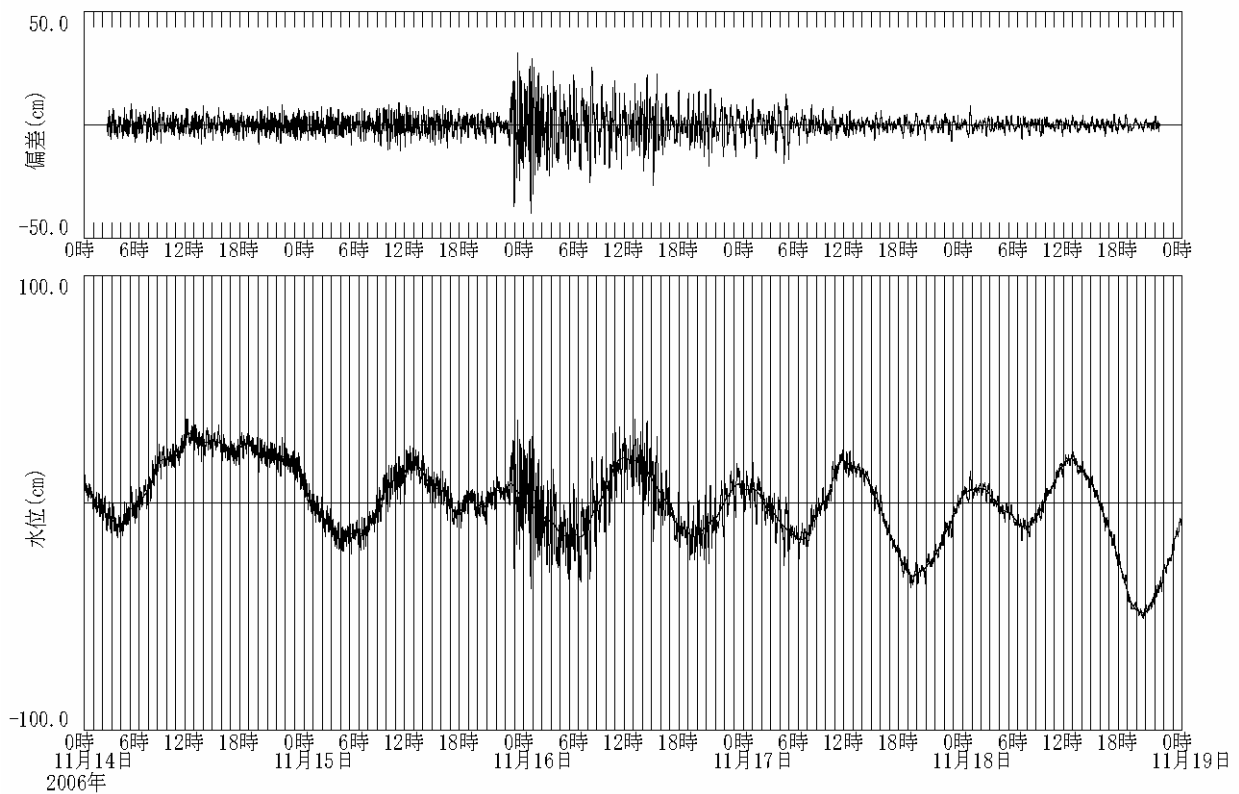
付図A-13 潮位変動除去前後の津波波形記録（杓形：フース、北海道開発局）



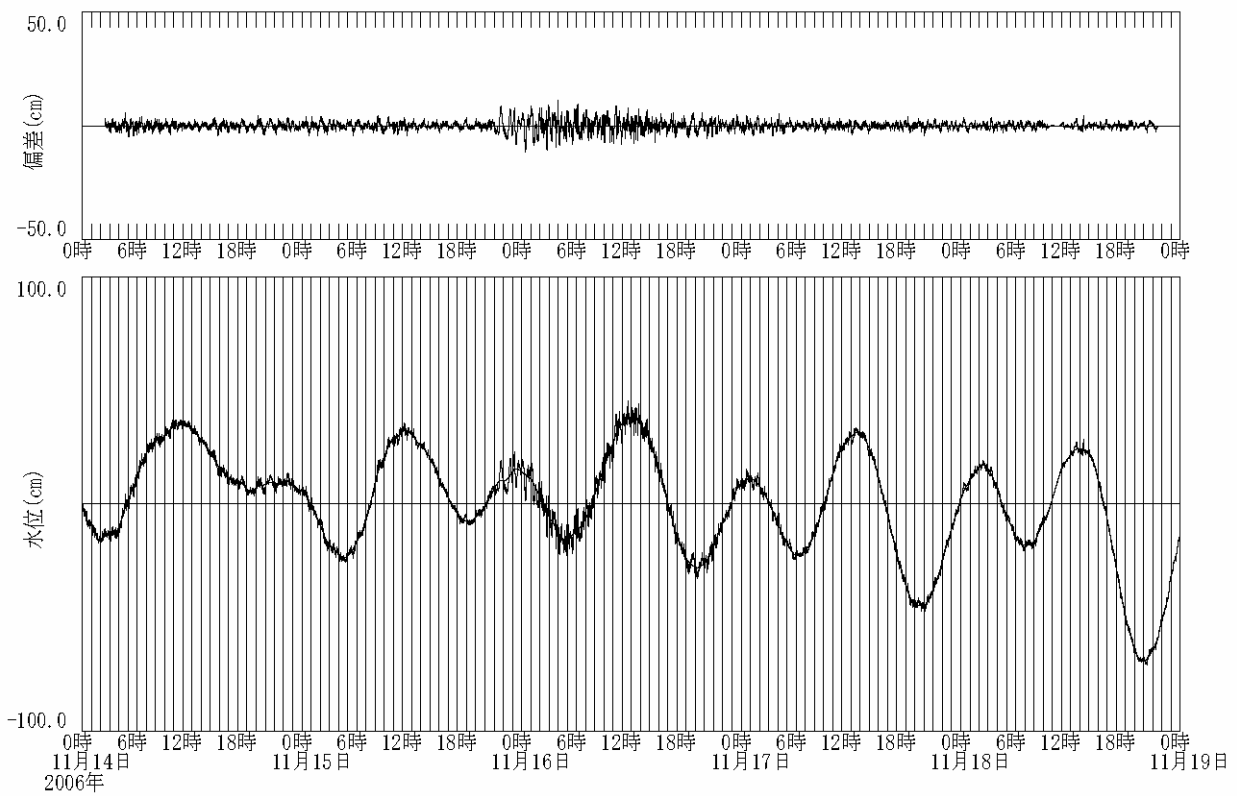
付図A-14 潮位変動除去前後の津波波形記録（根室：フース、北海道開発局）



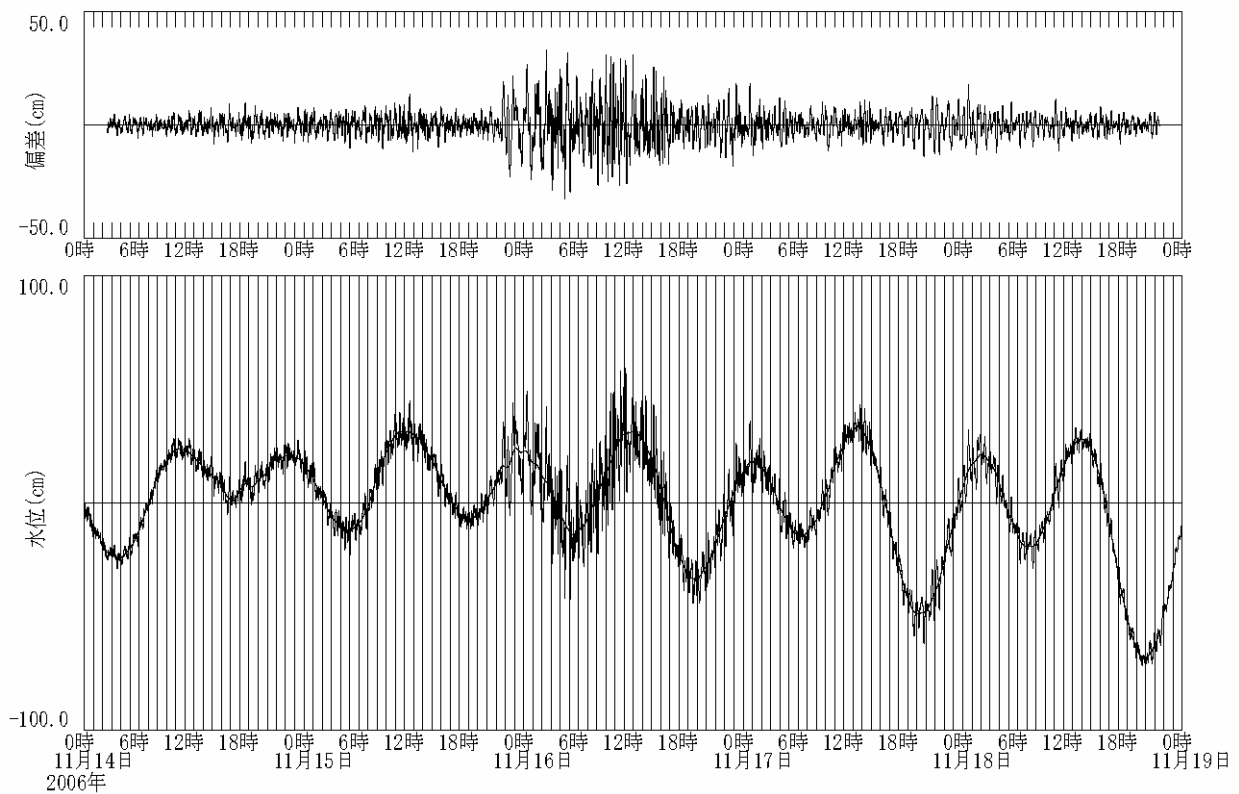
付図A-15 潮位変動除去前後の津波波形記録（紋別（南）：海象計、h=52.6m、北海道開発局）



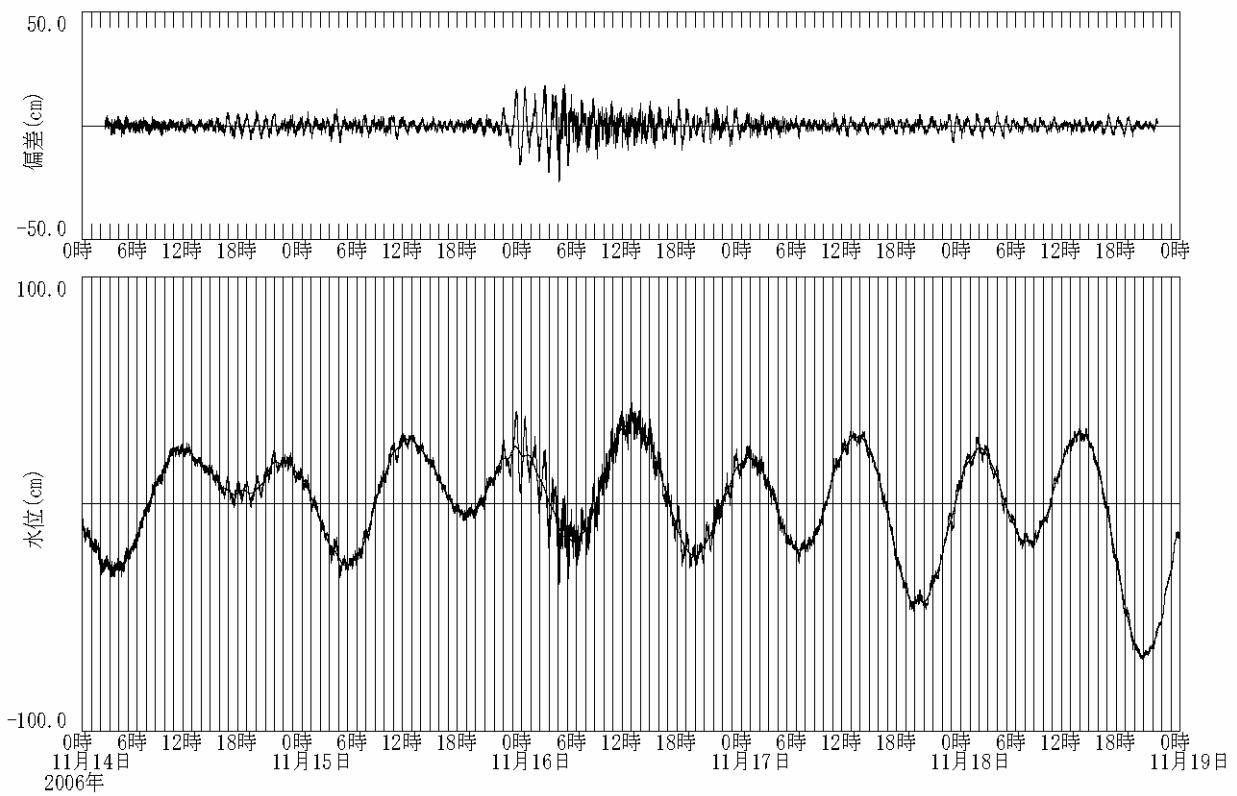
付図A-16 潮位変動除去前後の津波波形記録（枝幸：フース、北海道開発局）



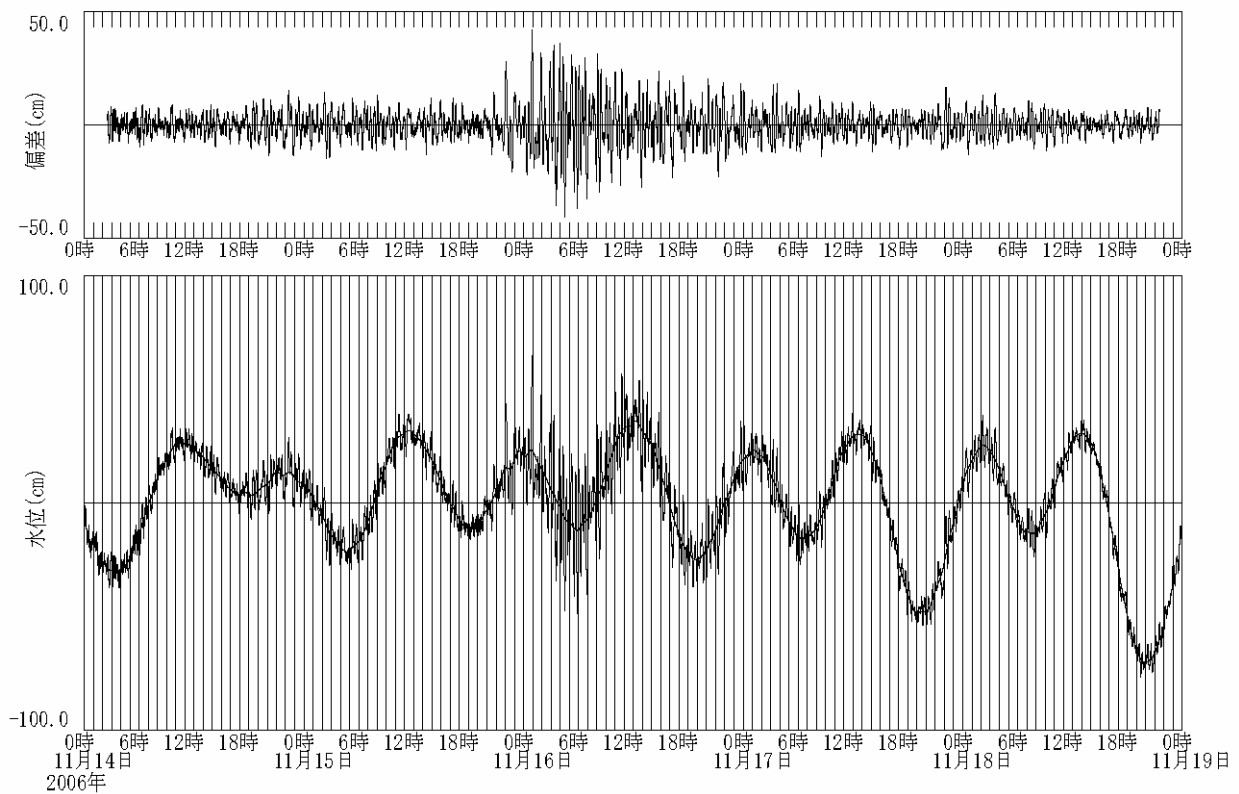
付図A-17 潮位変動除去前後の津波波形記録（釧路：海象計、h=50.1m、北海道開発局）



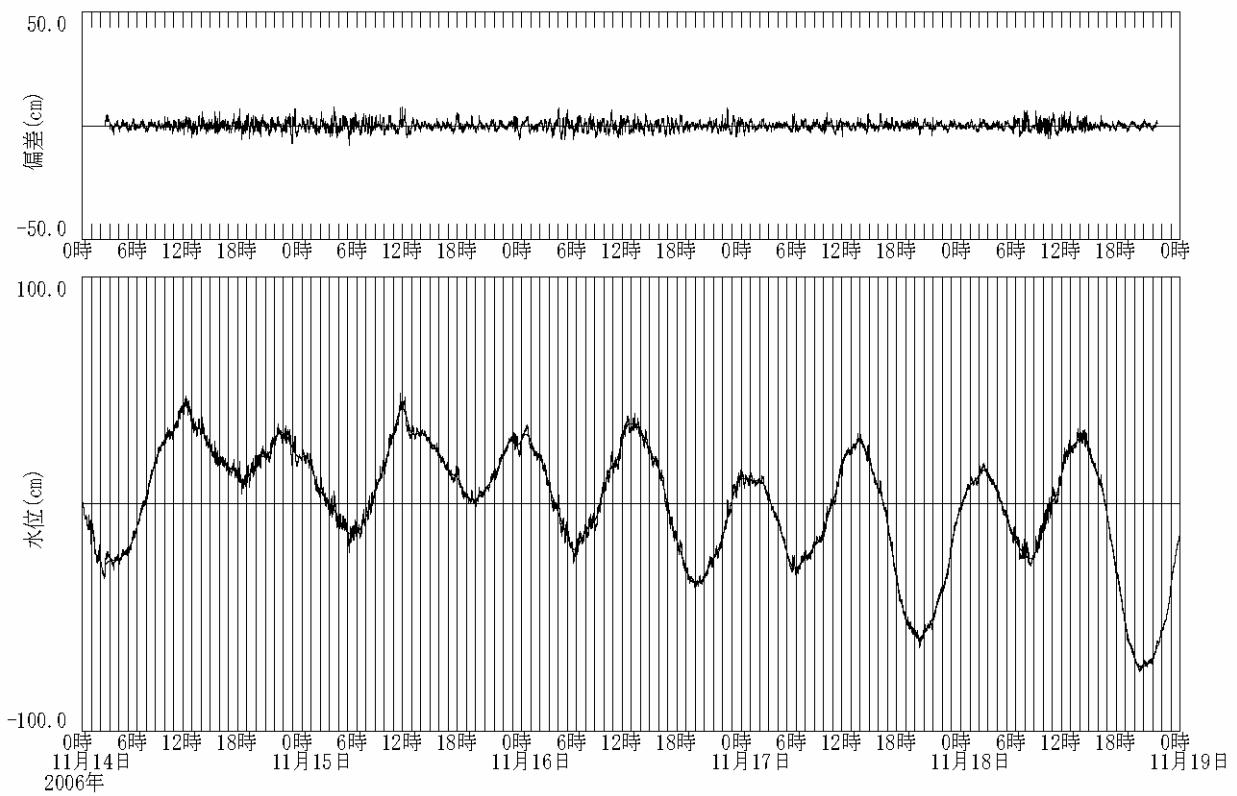
付図A-18 潮位変動除去前後の津波波形記録（霧多布：空中発射、北海道開発局）



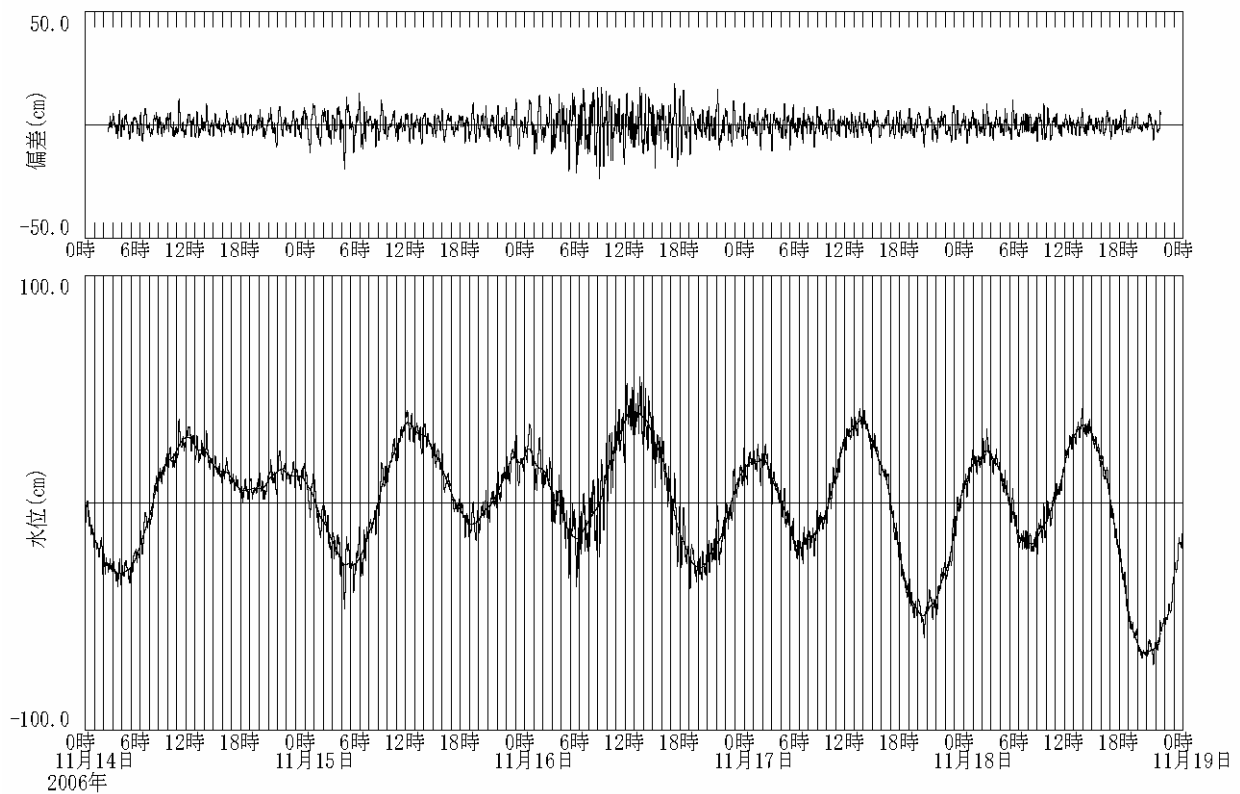
付図A-19 潮位変動除去前後の津波波形記録（十勝港沖：海象計、h=23.0m、北海道開発局）



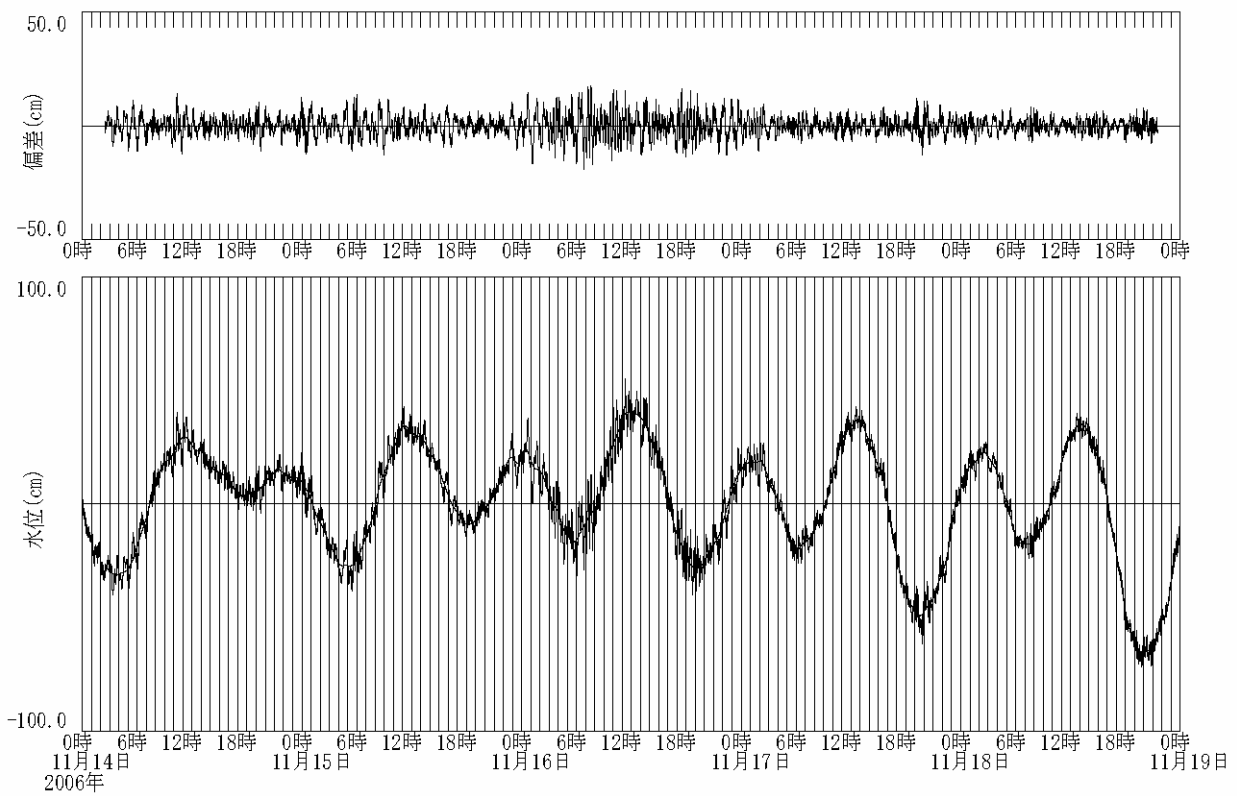
付図A-20 潮位変動除去前後の津波波形記録（十勝：フース、北海道開発局）



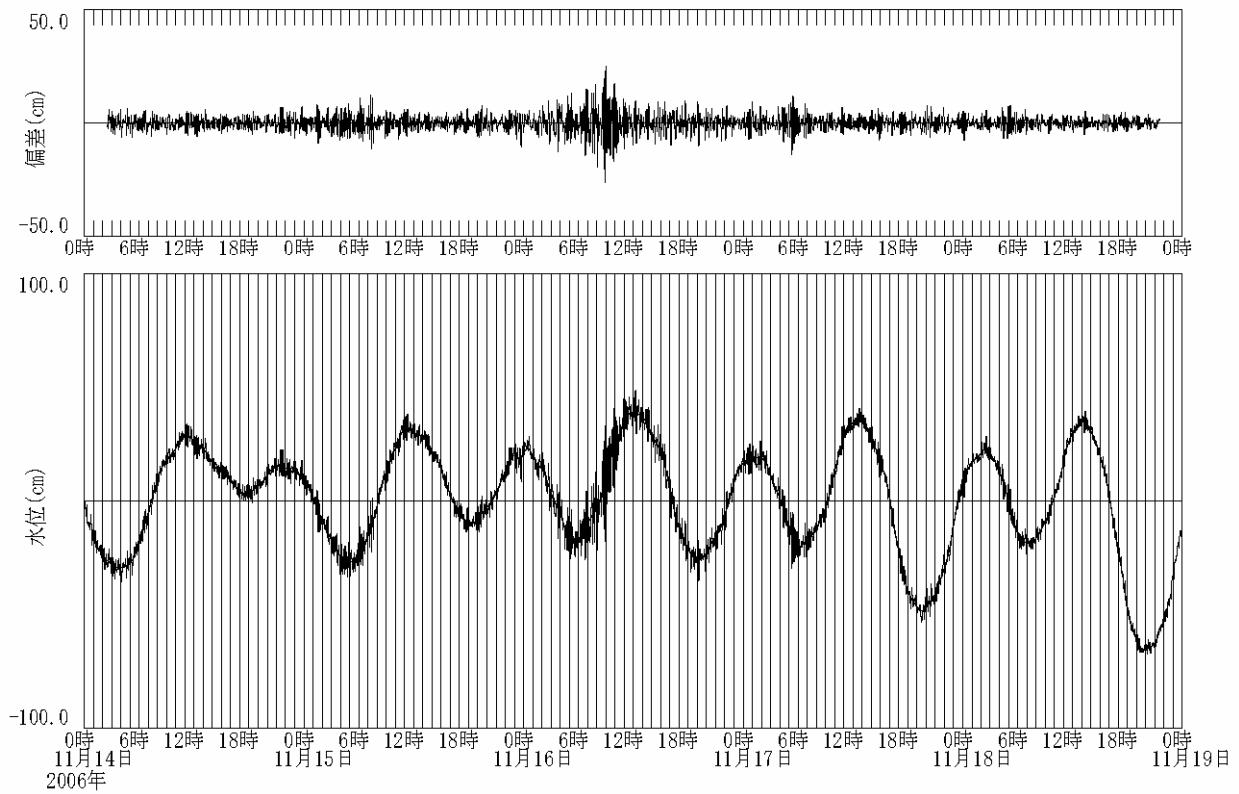
付図A-21 潮位変動除去前後の津波波形記録（苫小牧港沖：海象計、h=50.7m、北海道開発局）



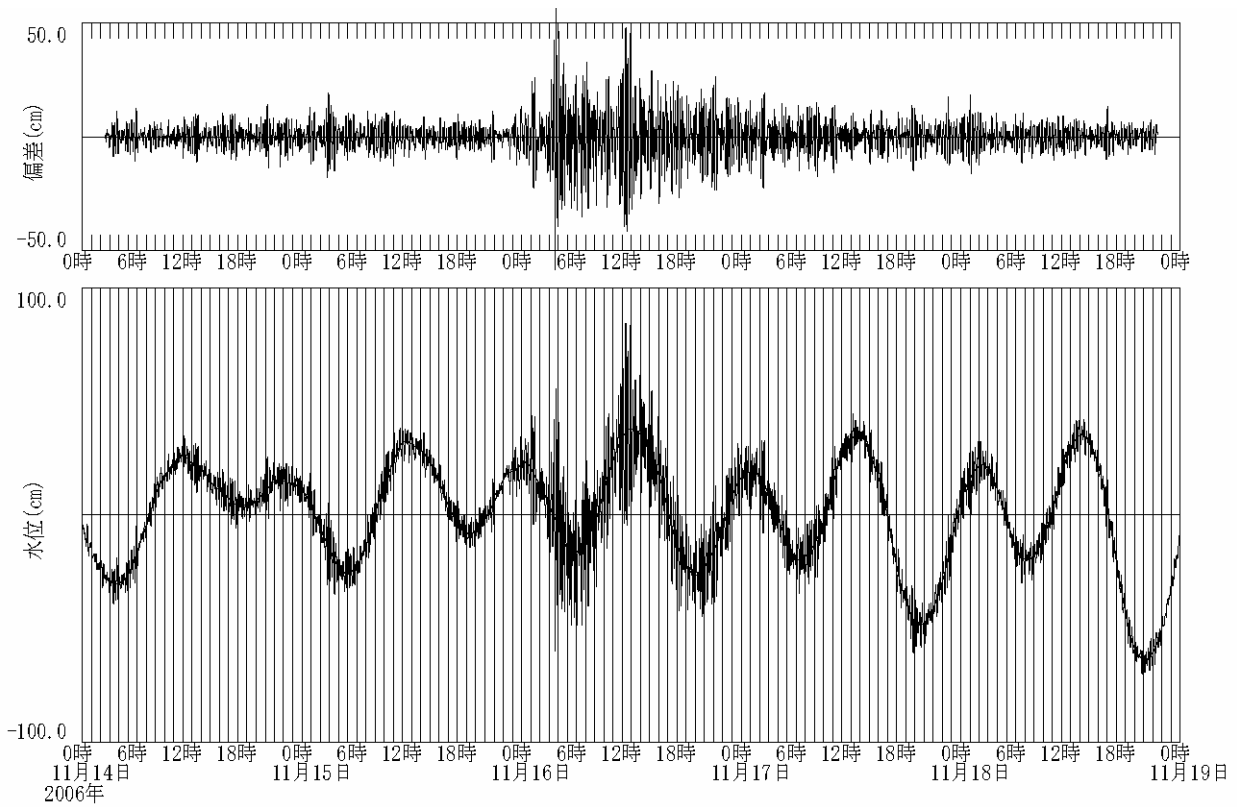
付図A-22 潮位変動除去前後の津波波形記録（苫小牧東港：フース、北海道開発局）



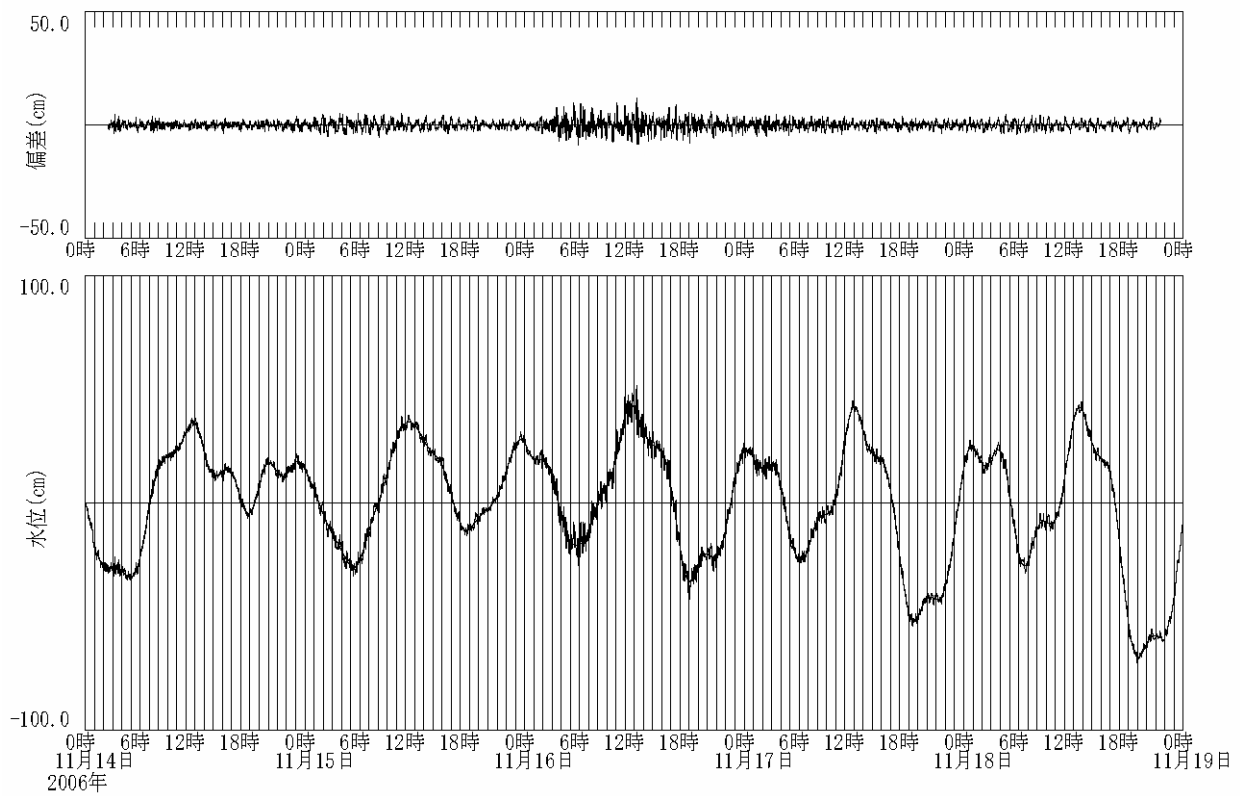
付図A-23 潮位変動除去前後の津波波形記録（苫小牧西港：フース、北海道開発局）



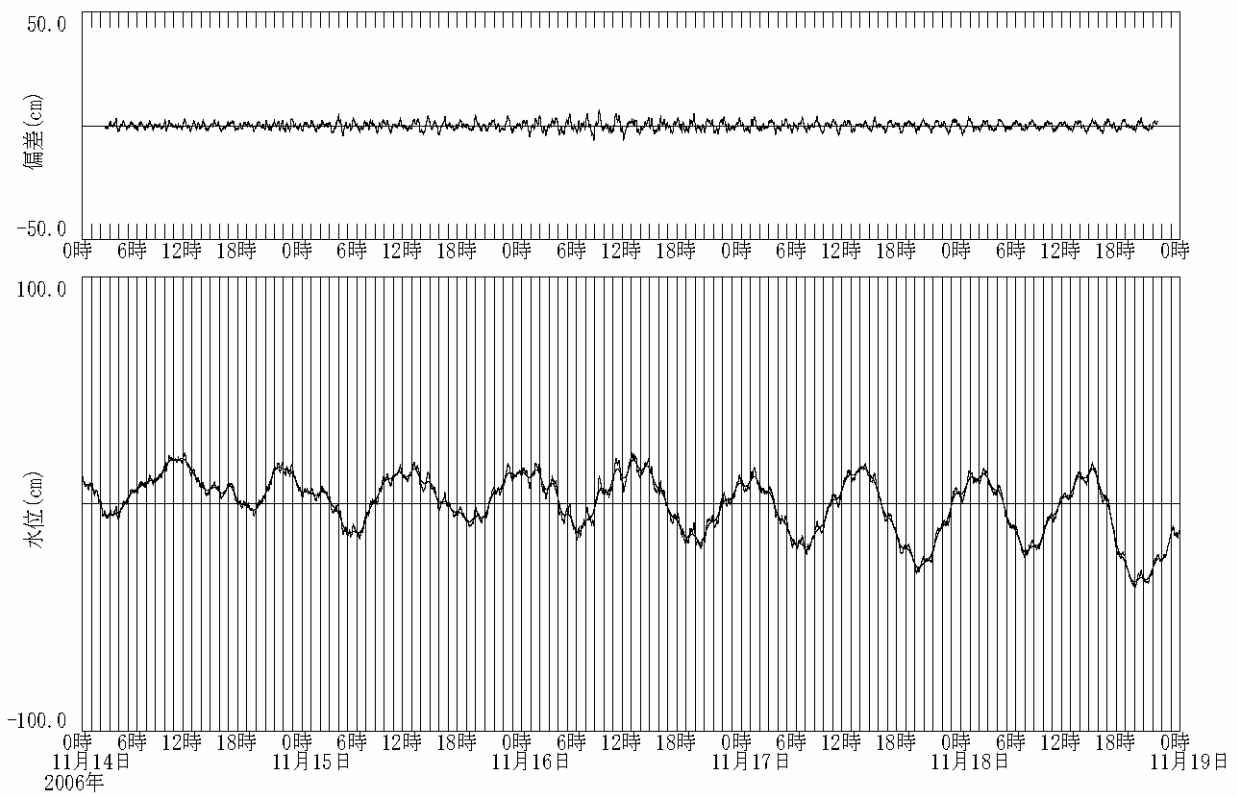
付図A-24 潮位変動除去前後の津波波形記録（白老：フース、北海道開発局）



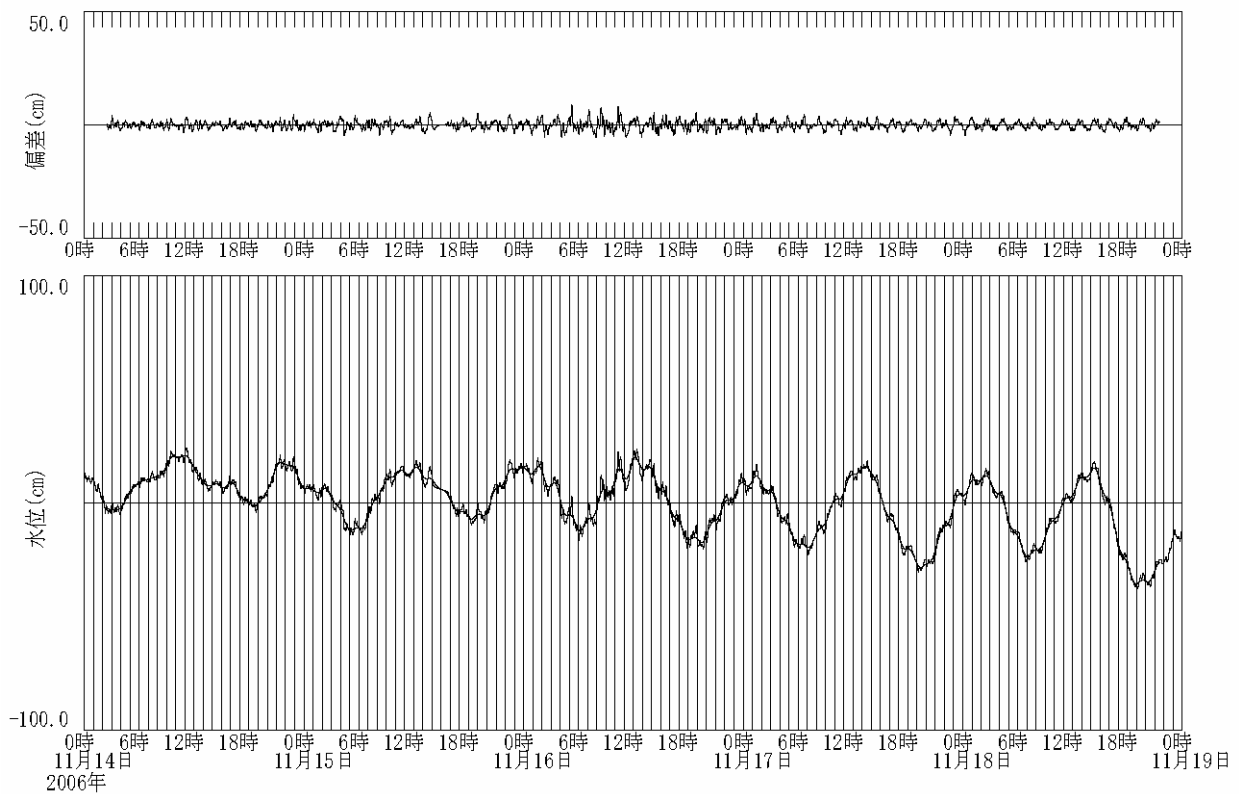
付図A-25 潮位変動除去前後の津波波形記録（浦川：フース、海上保安庁）



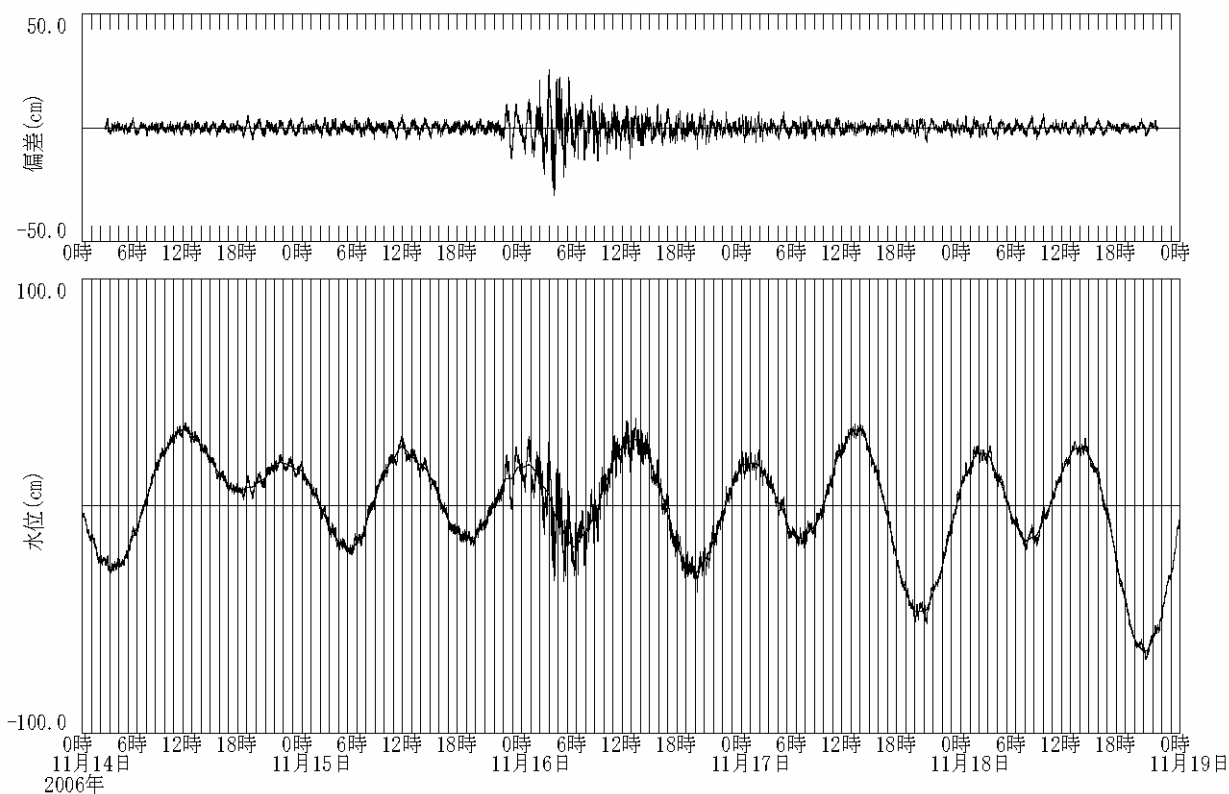
付図A-26 潮位変動除去前後の津波波形記録（森：空中発射、北海道開発局）



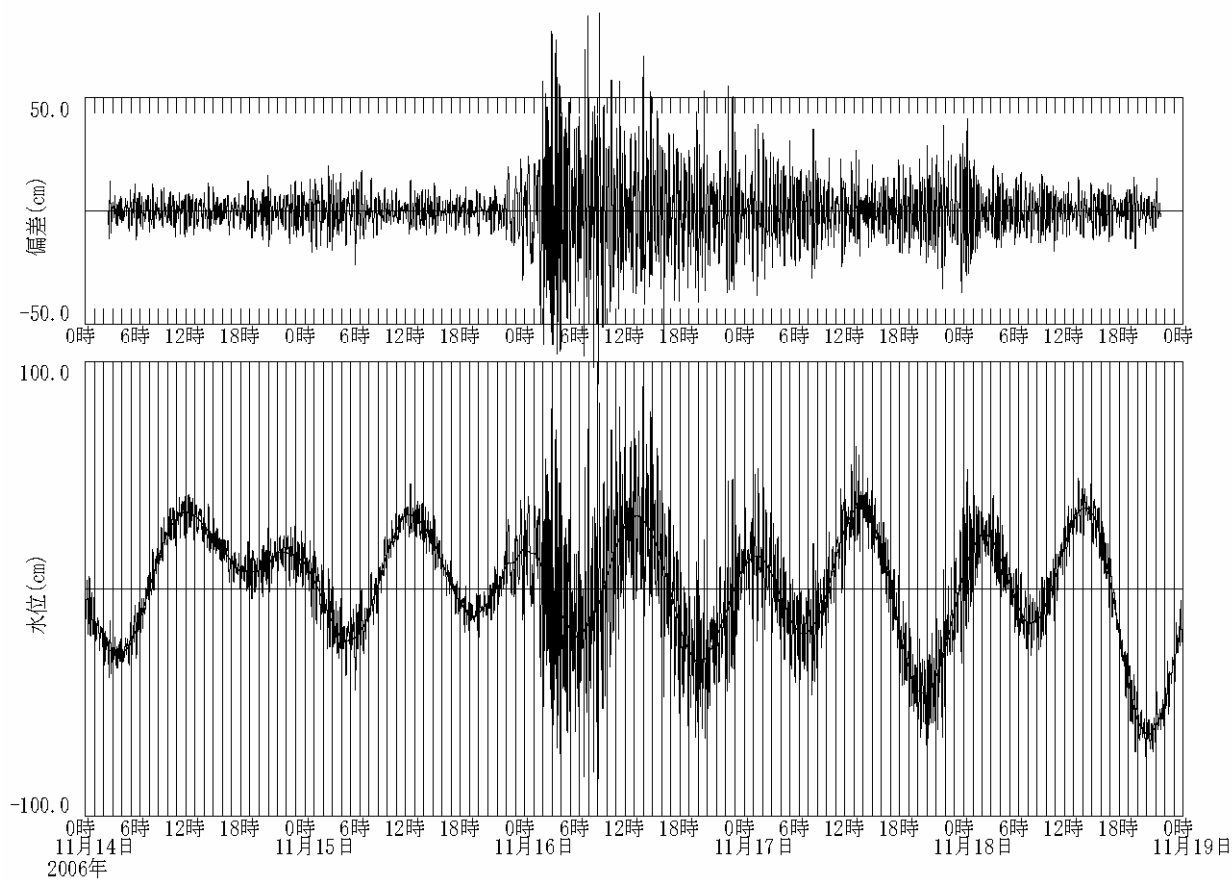
付図A-27 潮位変動除去前後の津波波形記録（青森：波高計、 $h=21.8\text{m}$ 、東北地方整備局）



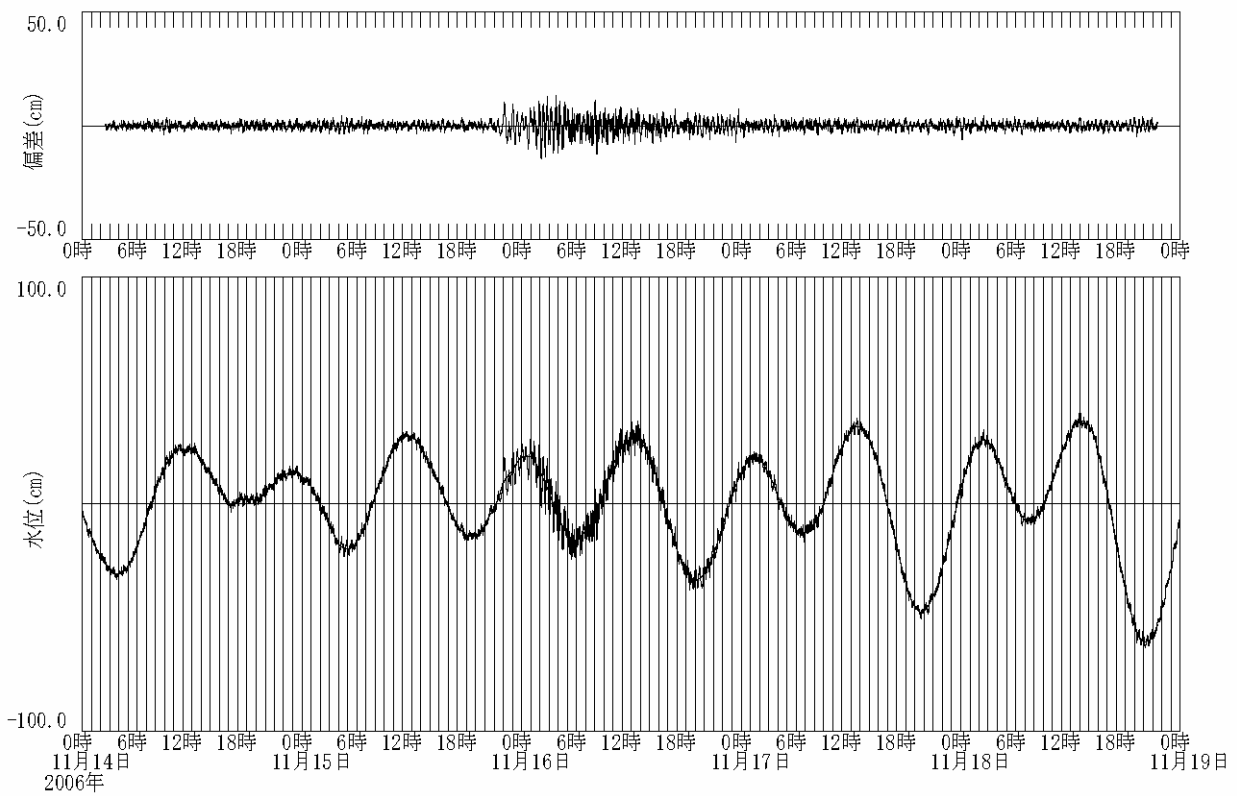
付図A-28 潮位変動除去前後の津波波形記録（青森：フース、東北地方整備局）



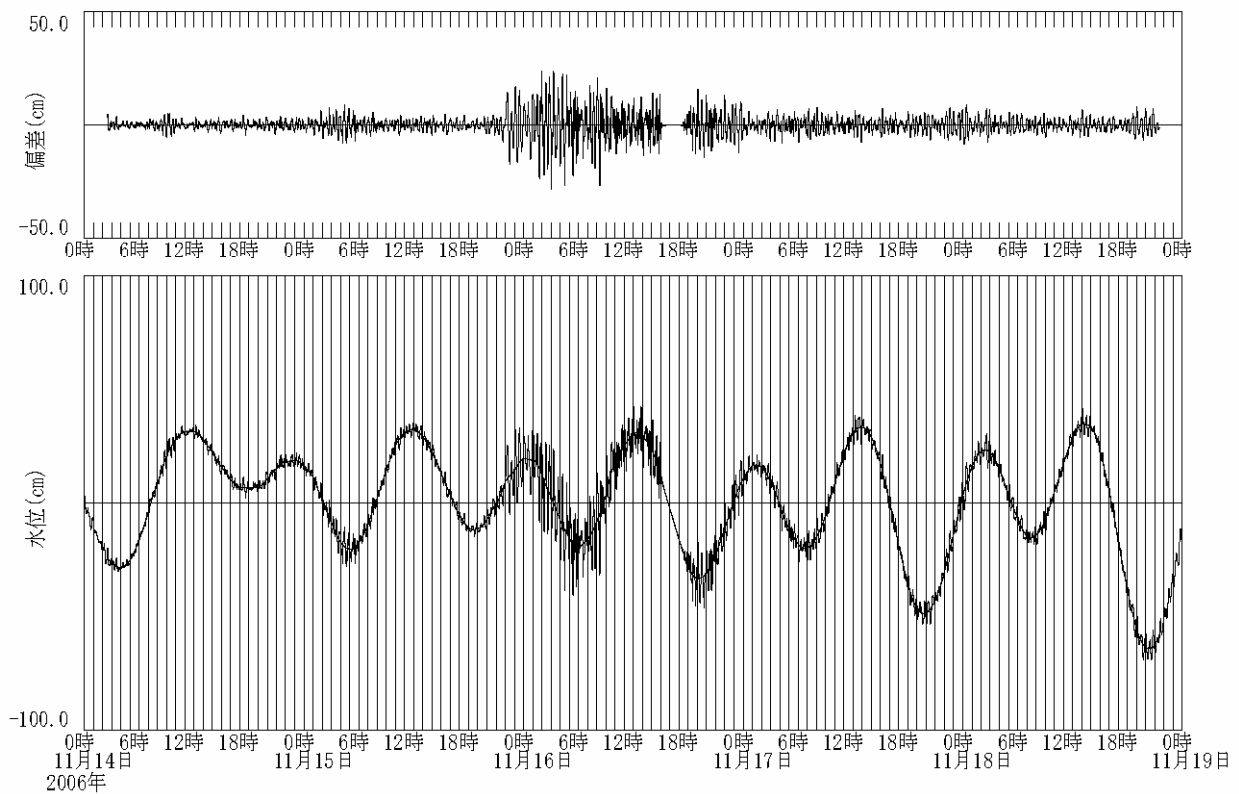
付図A-29 潮位変動除去前後の津波波形記録（八戸港沖：波高計、 $h=27.7\text{m}$ 、東北地方整備局）



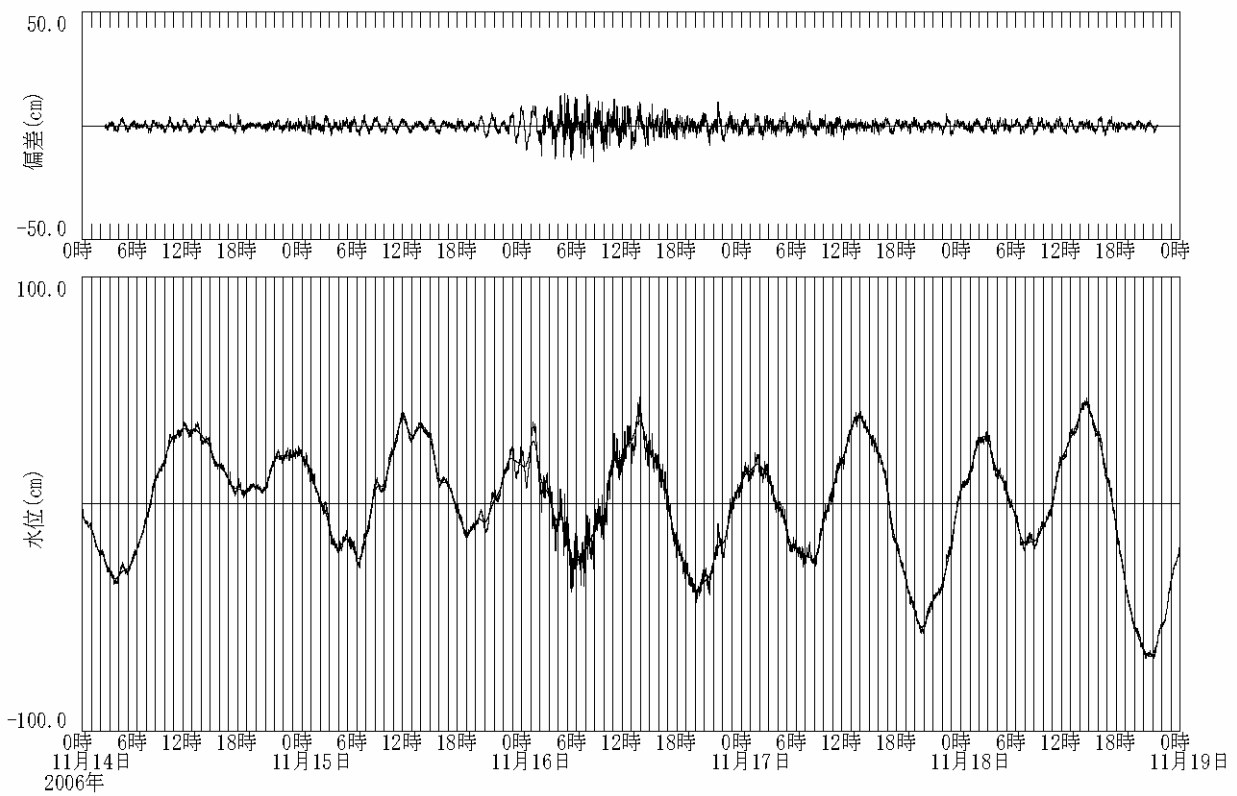
付図A-30 潮位変動除去前後の津波波形記録（久慈：フース、東北地方整備局）



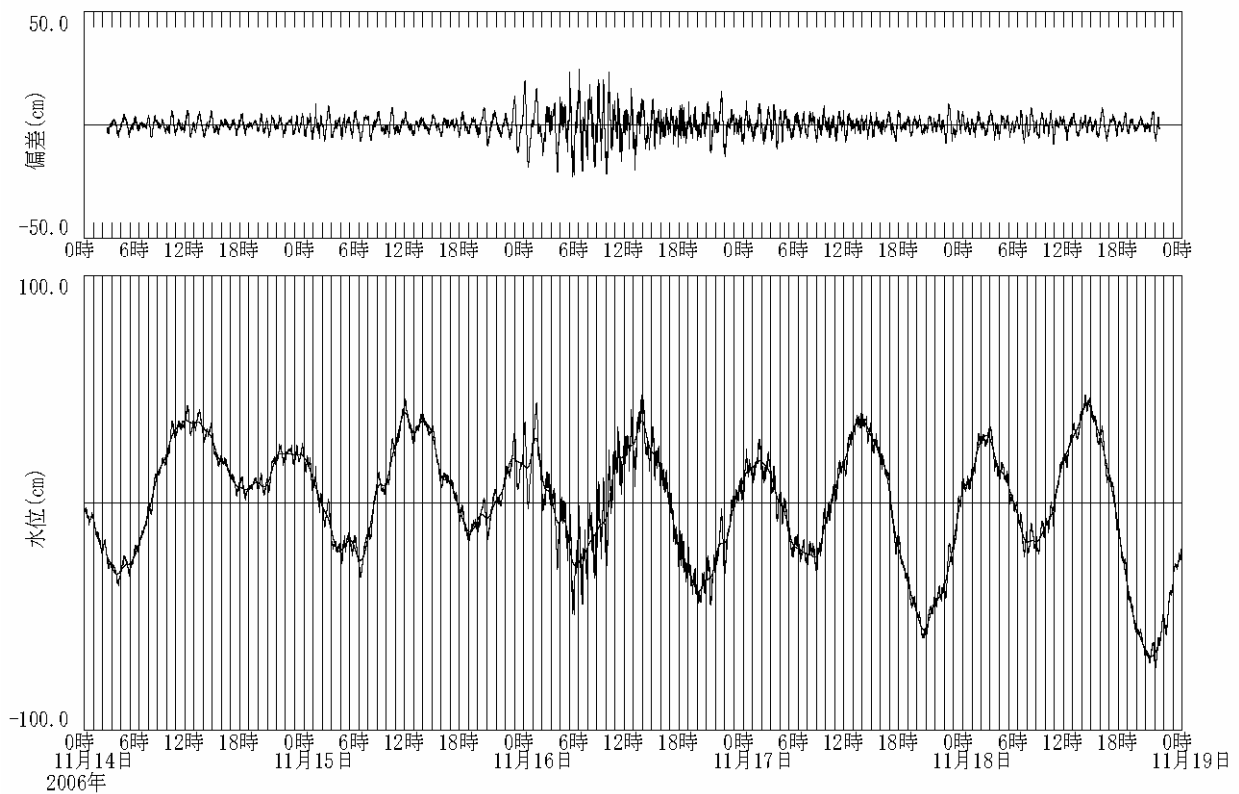
付図A-31 潮位変動除去前後の津波波形記録（釜石港沖：波高計、 $h=49.8\text{m}$ 、東北地方整備局）



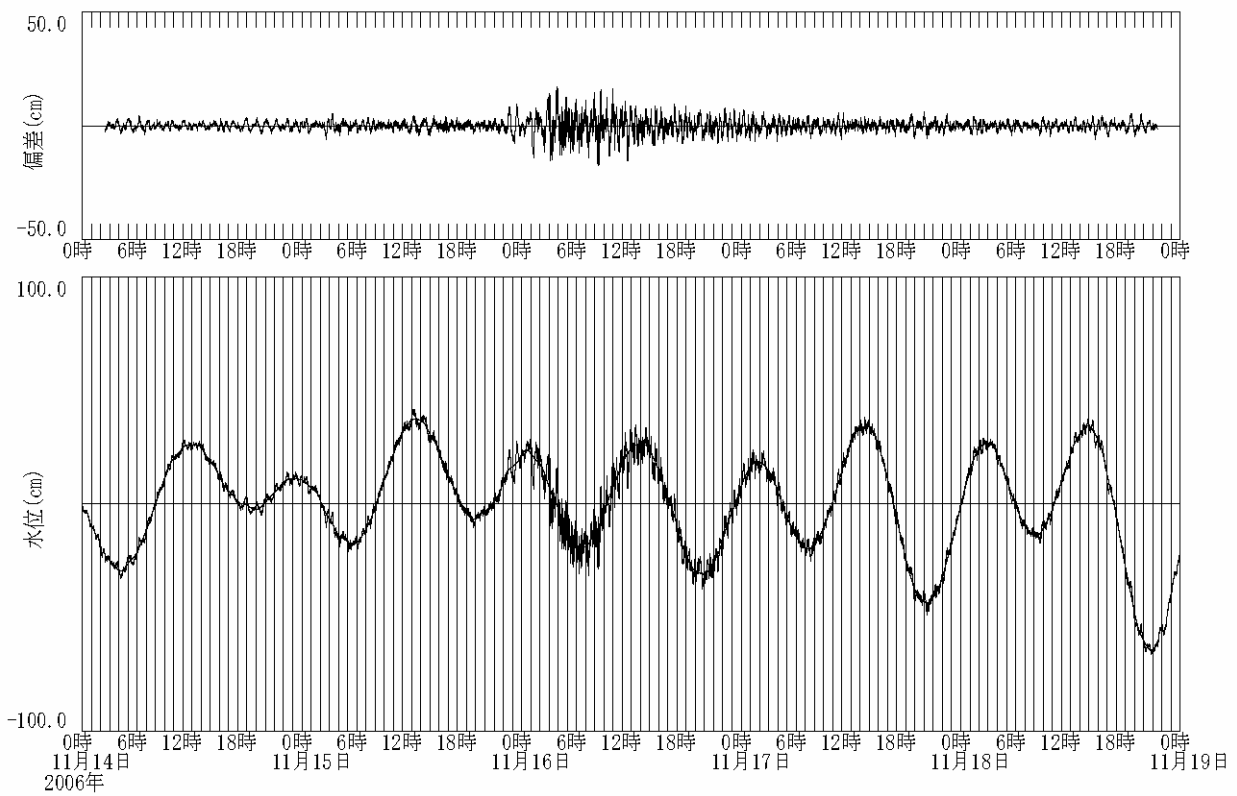
付図A-32 潮位変動除去前後の津波波形記録（釜石：フース、海上保安庁）



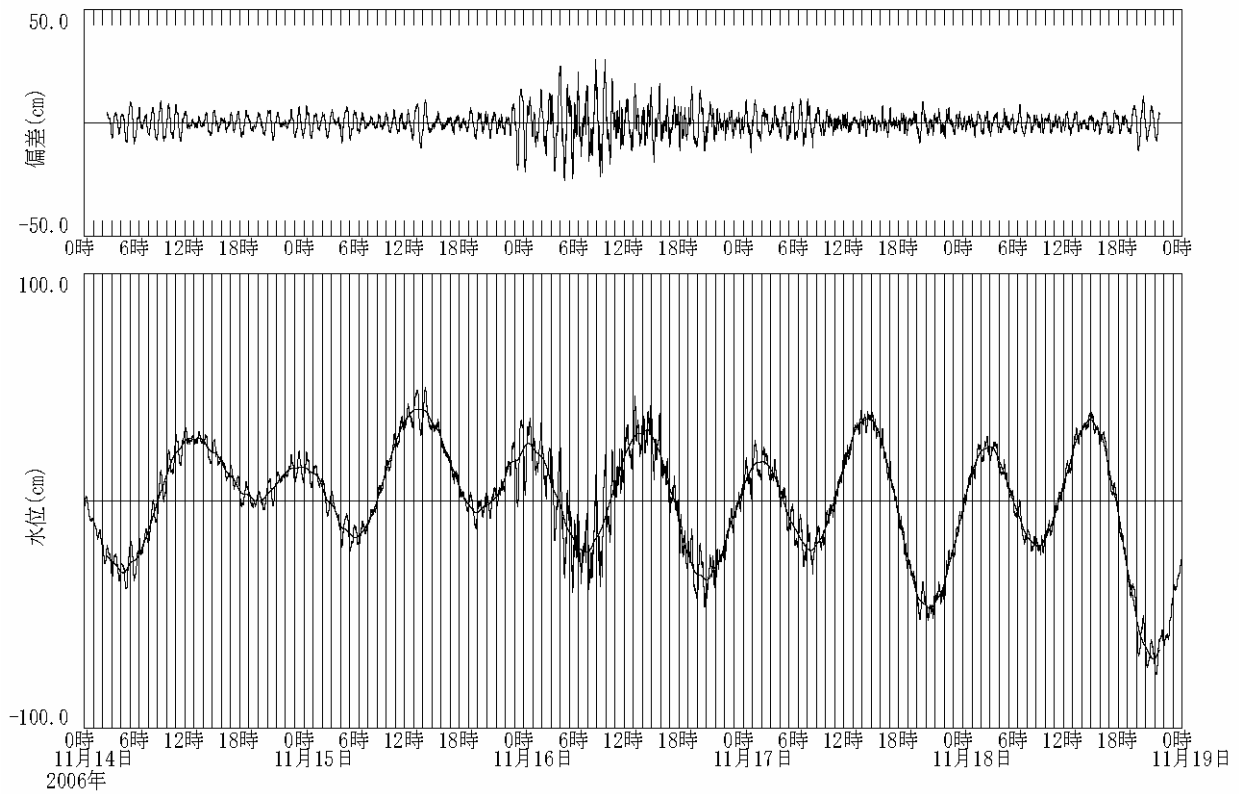
付図A-33 潮位変動除去前後の津波波形記録（石巻港沖：海象計、 $h=20.8\text{m}$ 、東北地方整備局）



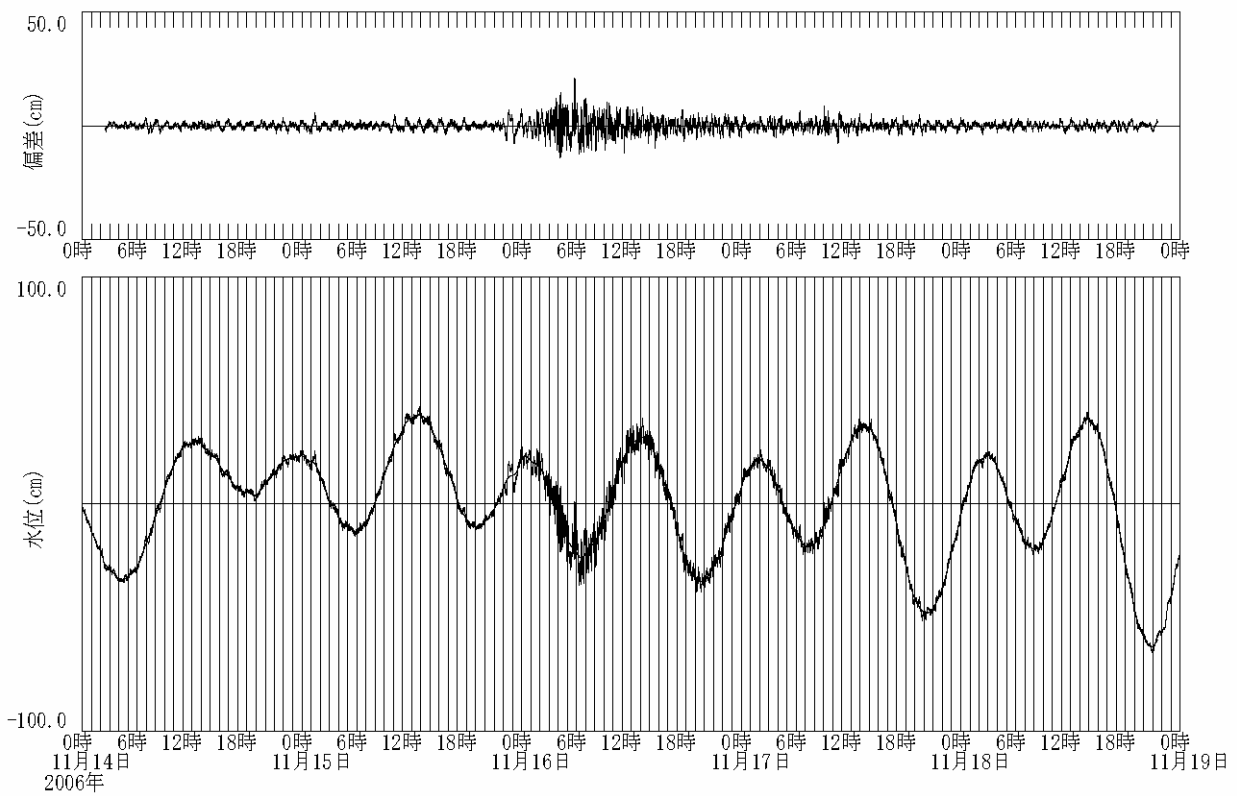
付図A-34 潮位変動除去前後の津波波形記録（石巻：フース、東北地方整備局）



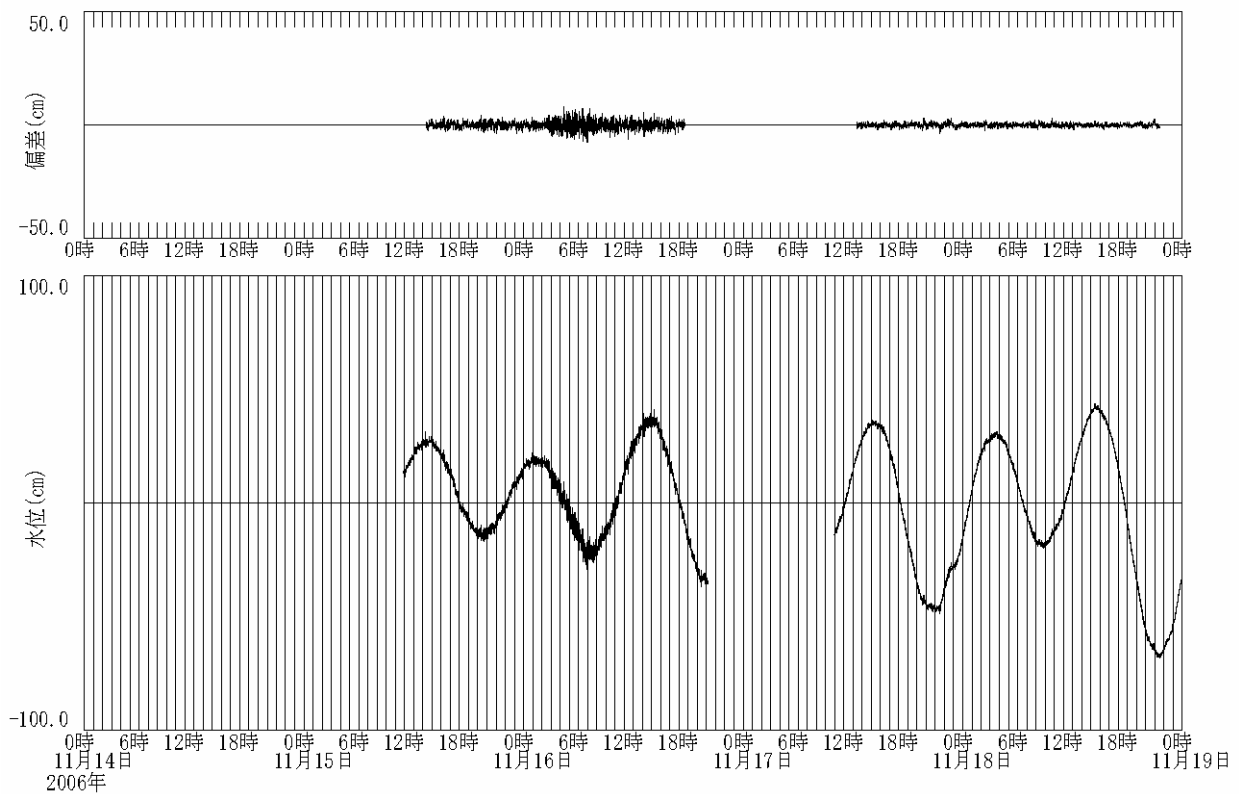
付図A-35 潮位変動除去前後の津波波形記録（鹿島：波高計、 $h=24.0\text{m}$ 、関東地方整備局）



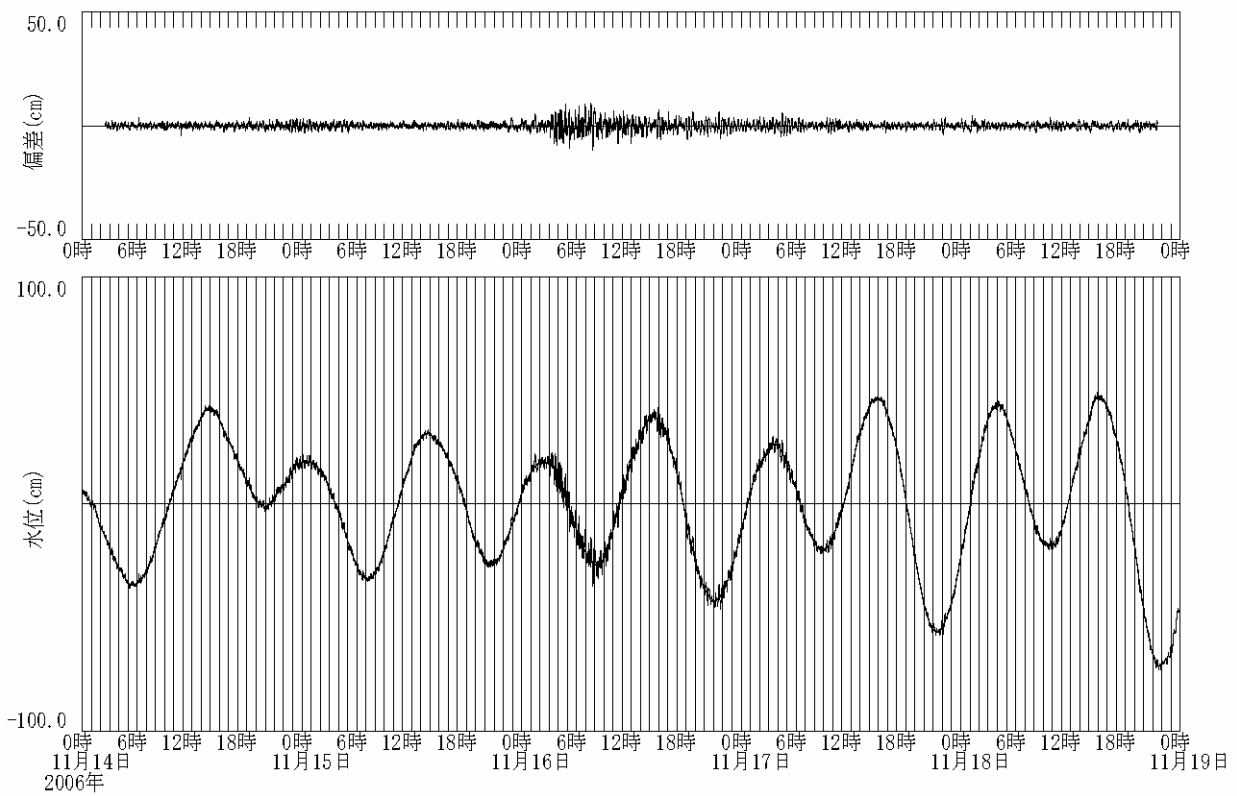
付図A-36 潮位変動除去前後の津波波形記録（鹿島：フース、関東地方整備局）



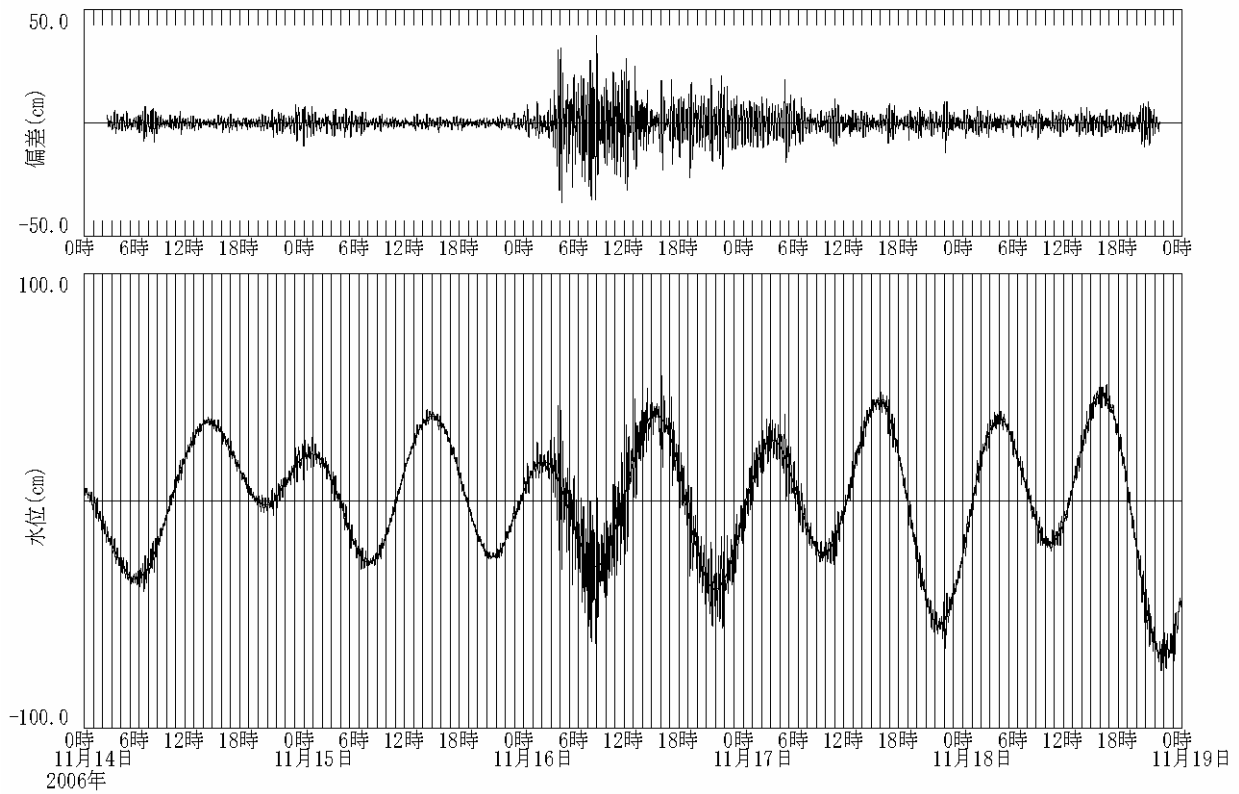
付図A-37 潮位変動除去前後の津波波形記録（小名浜港沖：海象計、 $h=23.8\text{m}$ 、東北地方整備局）



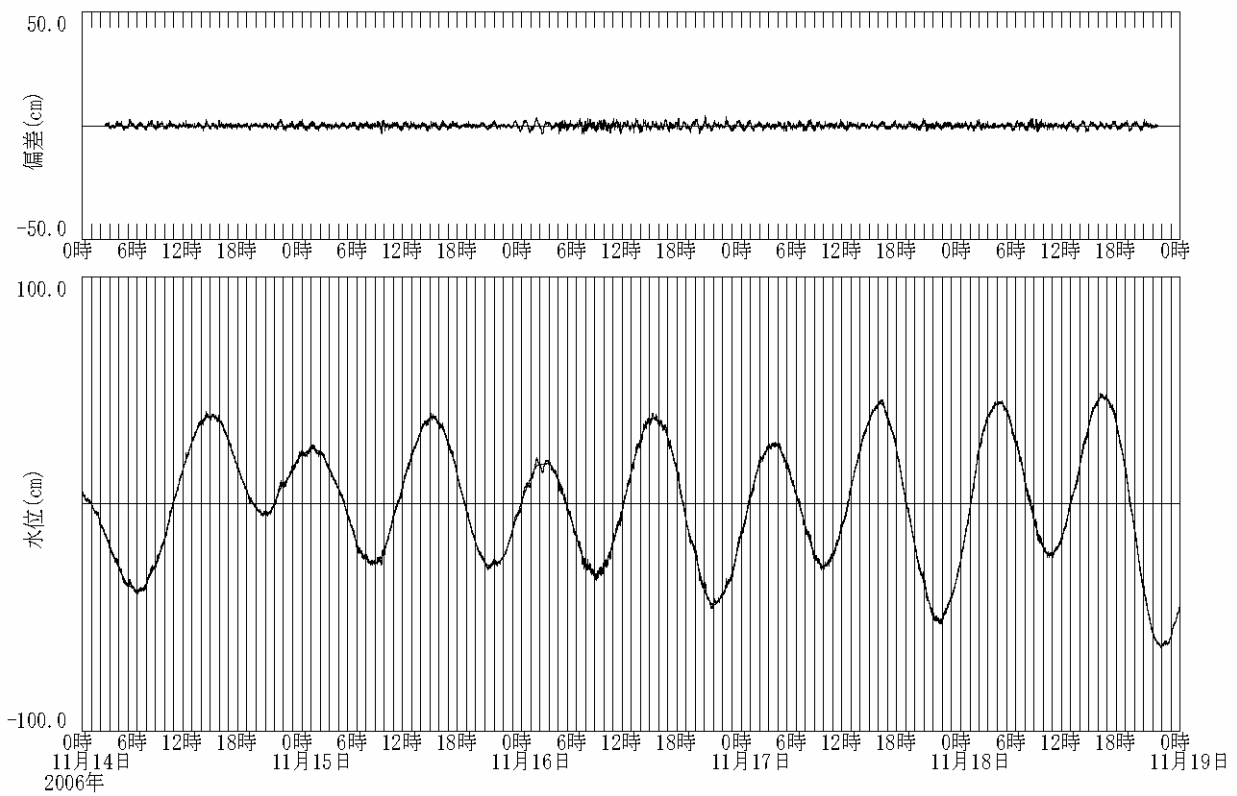
付図A-38 潮位変動除去前後の津波波形記録（波浮：波高計、 $h=48.3\text{m}$ 、関東地方整備局）



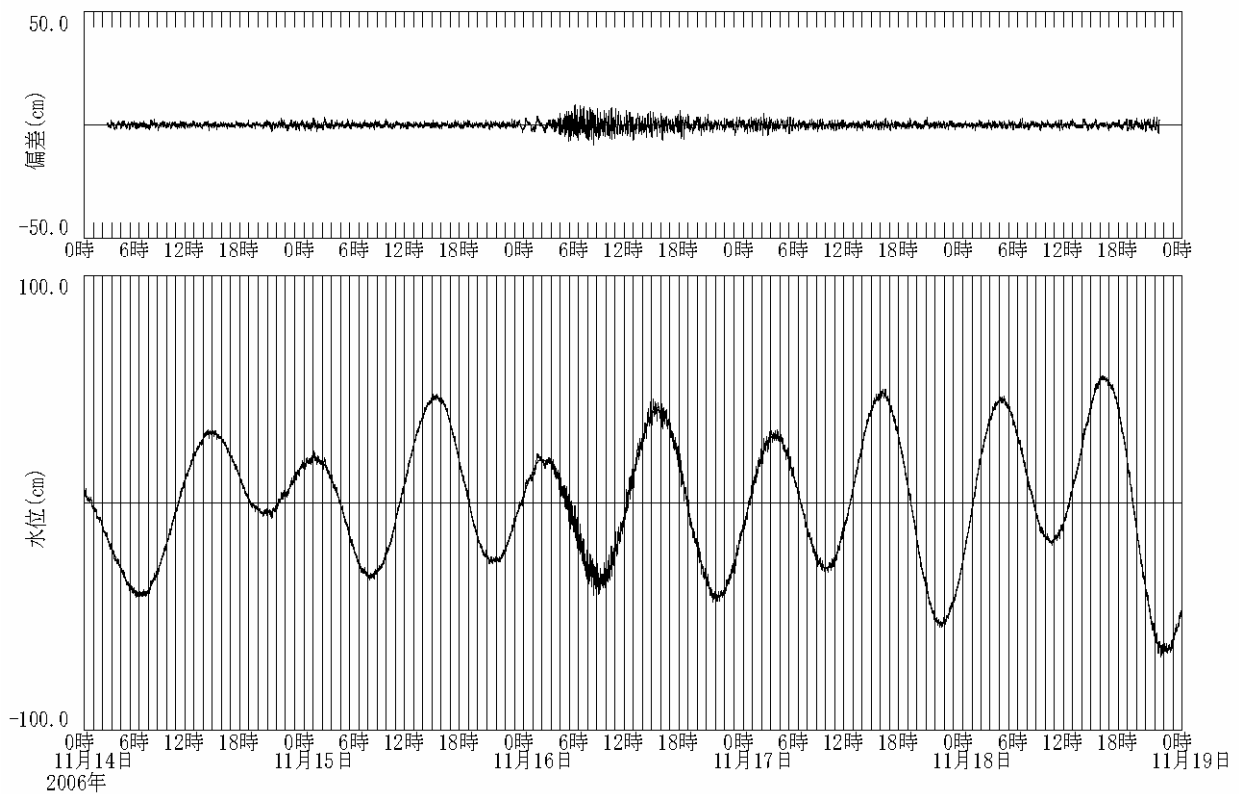
付図A-39 潮位変動除去前後の津波波形記録（下田：海象計、 $h=51.1m$ 、中部地方整備局）



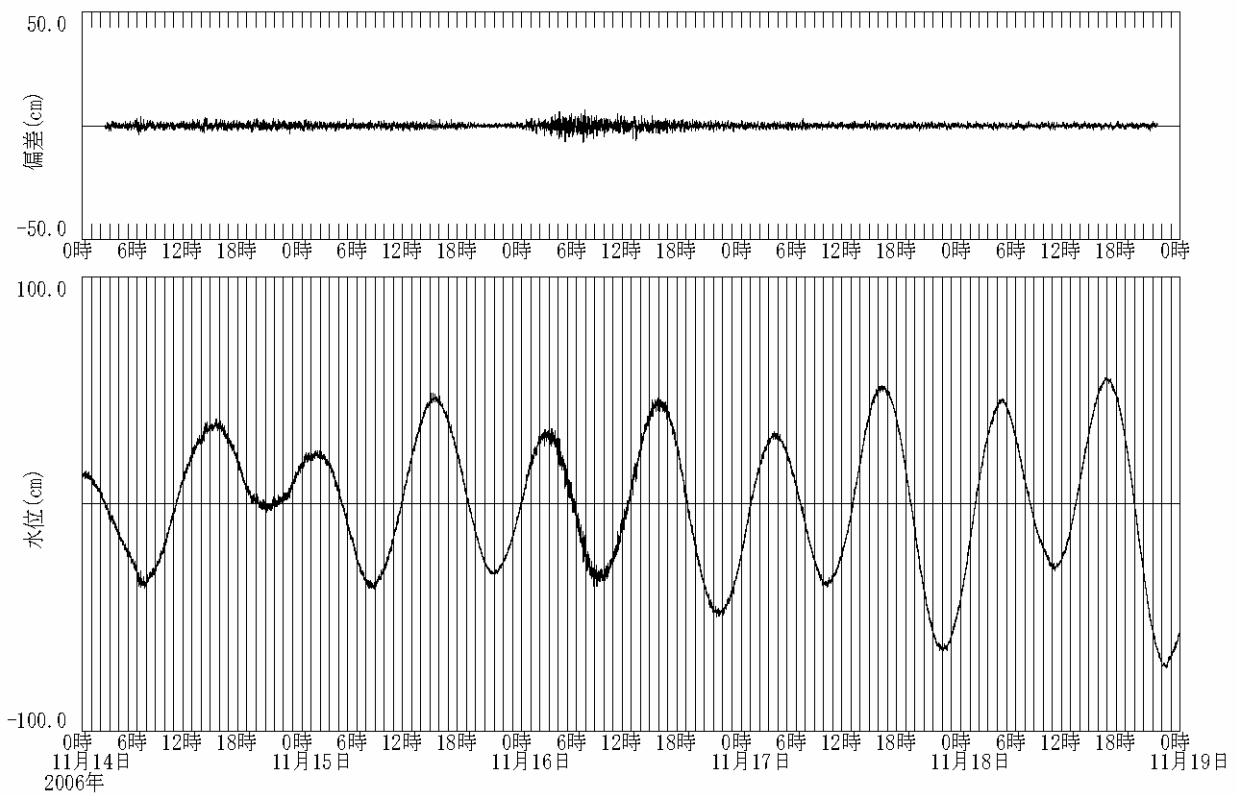
付図A-40 潮位変動除去前後の津波波形記録（下田：フース、中部地方整備局）



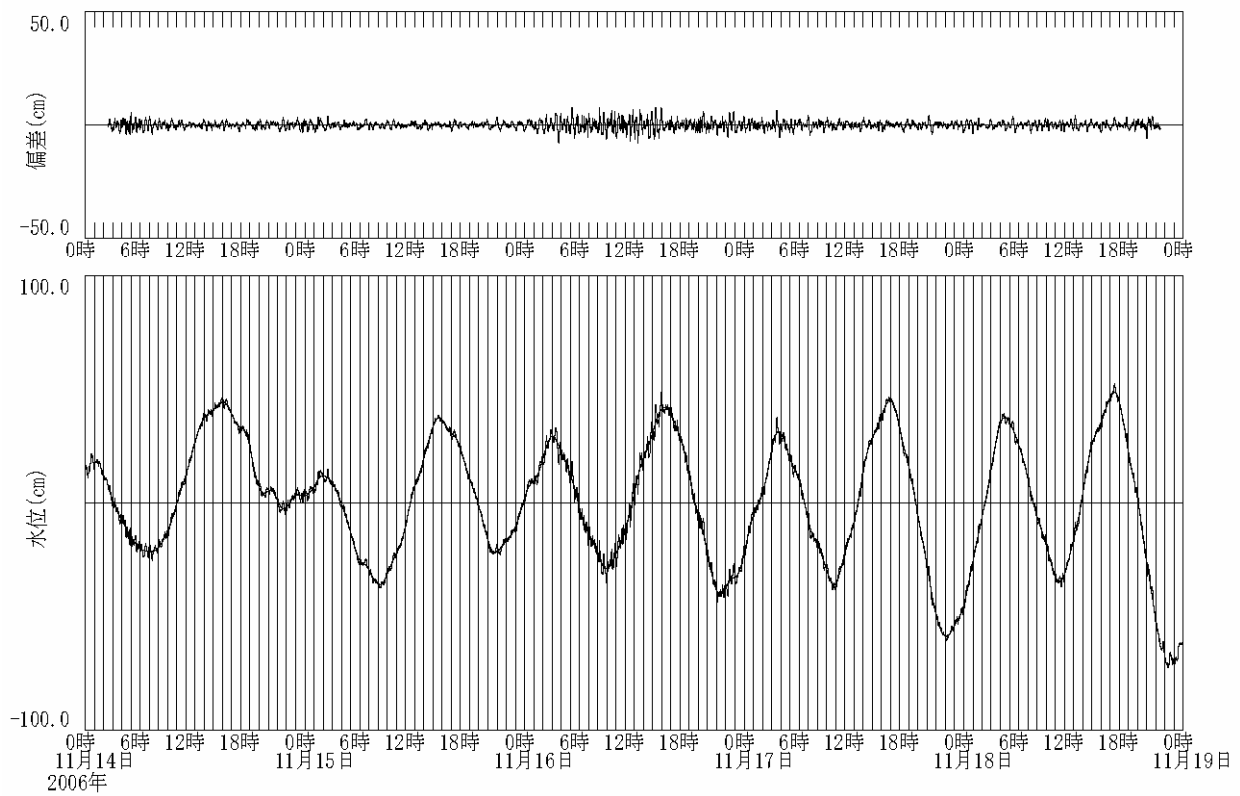
付図A-41 潮位変動除去前後の津波波形記録 (清水：海象計、 $h=51.8\text{m}$ 、中部地方整備局)



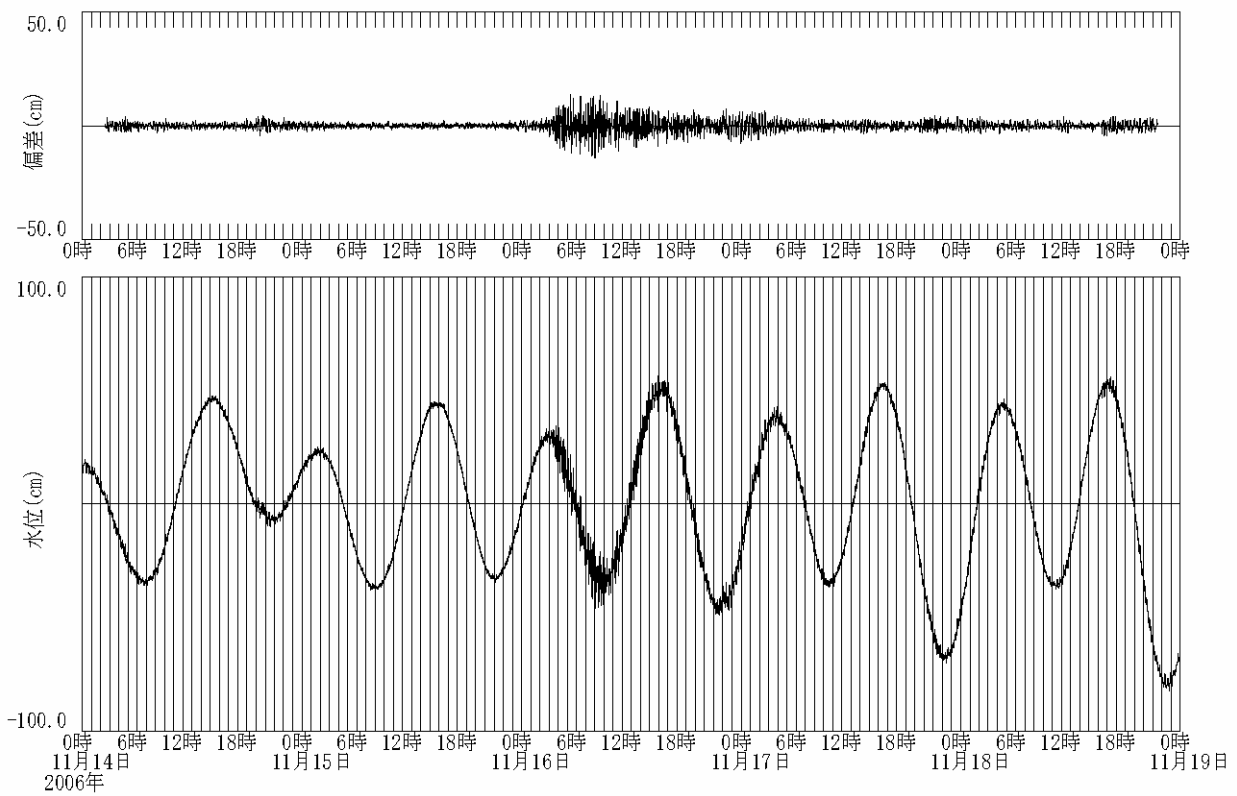
付図A-42 潮位変動除去前後の津波波形記録 (御前崎：海象計、 $h=22.8\text{m}$ 、中部地方整備局)



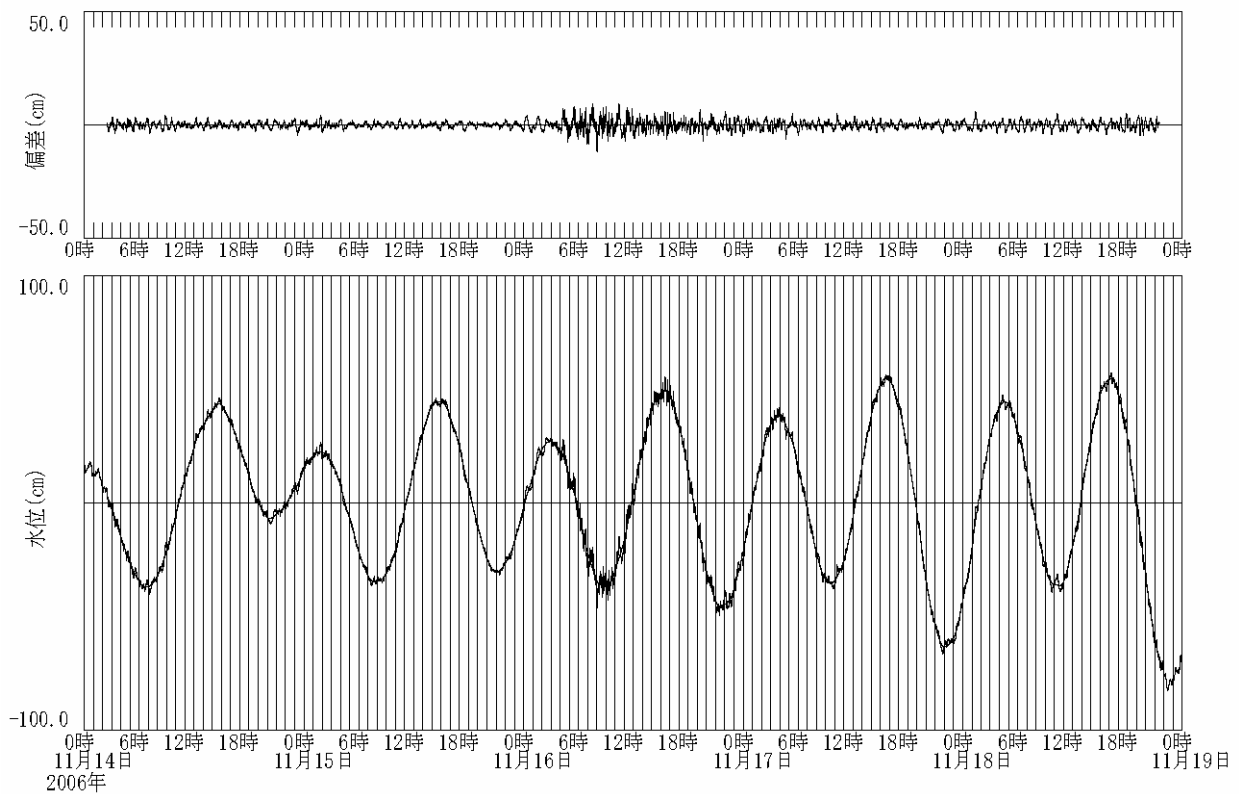
付図A-43 潮位変動除去前後の津波波形記録 (潮岬：海象計、h=54.7m、近畿地方整備局)



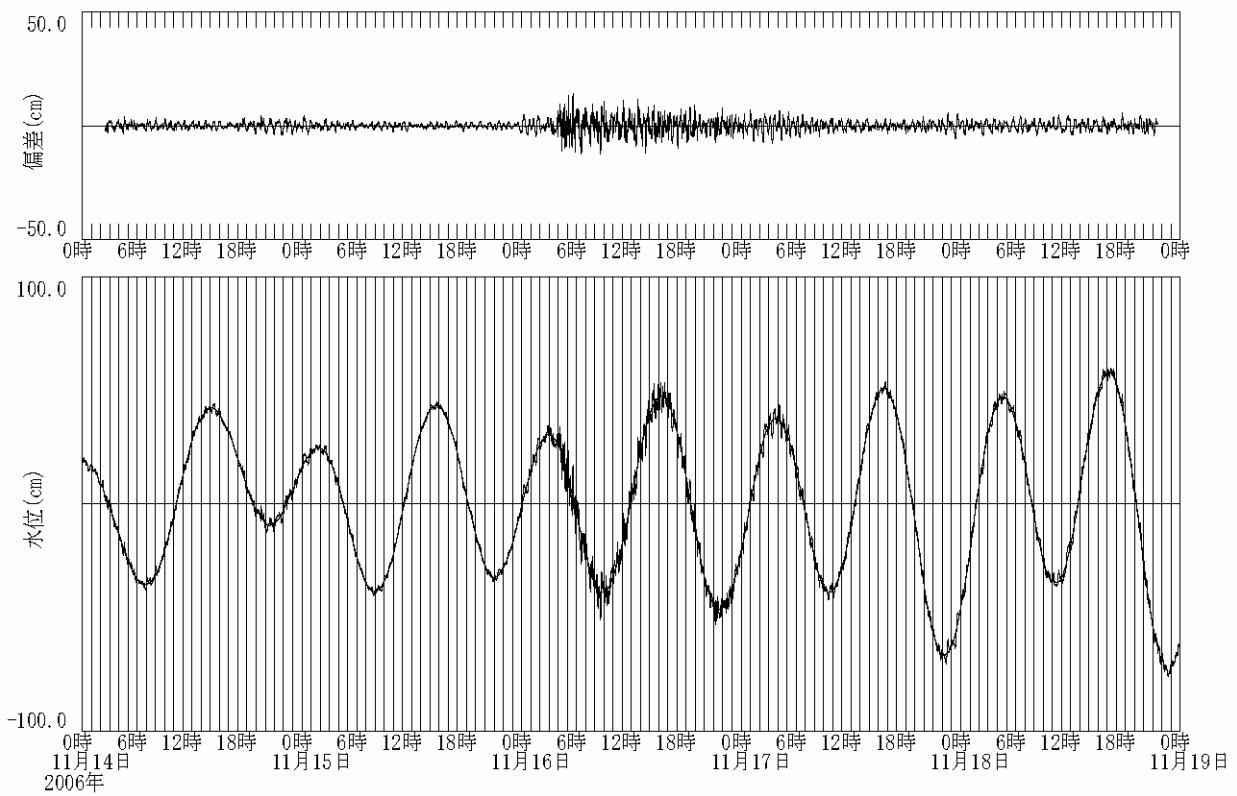
付図A-44 潮位変動除去前後の津波波形記録 (小松島：フース、気象庁)



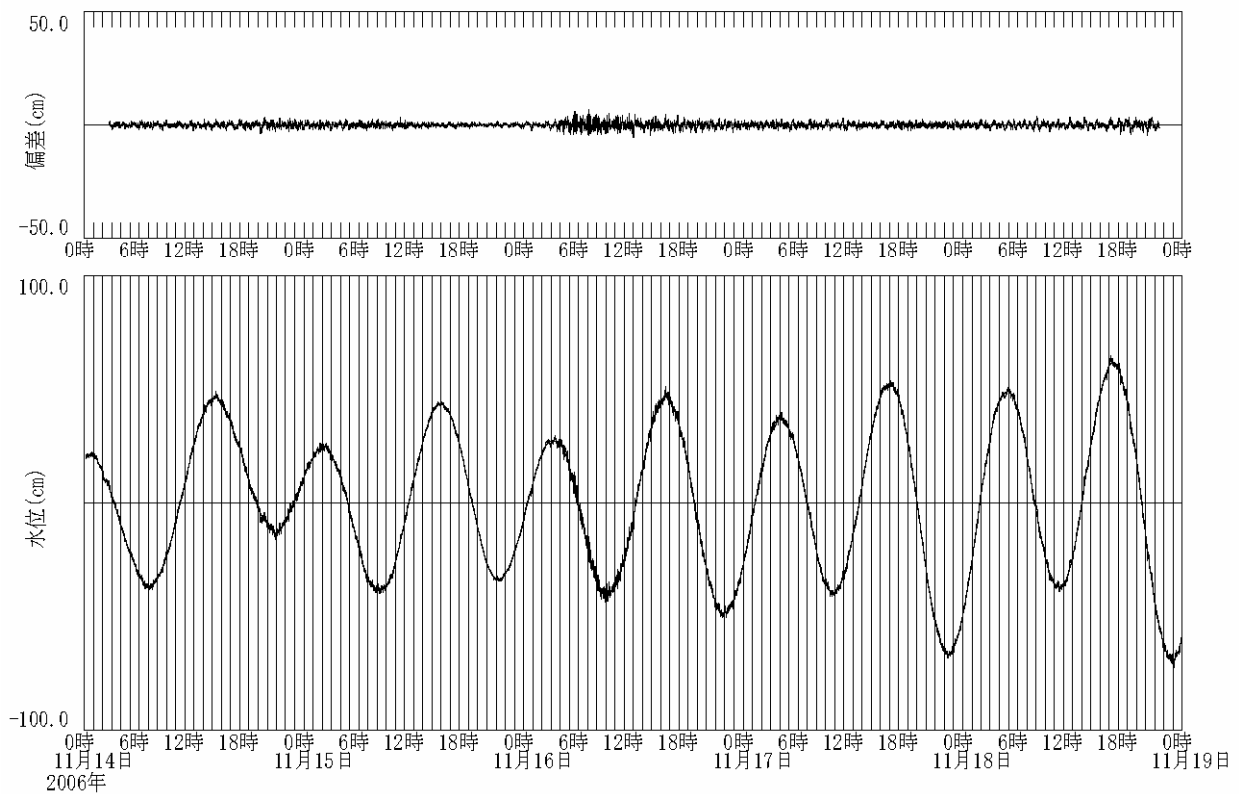
付図A-45 潮位変動除去前後の津波波形記録（室津：海象計、 $h=27.7\text{m}$ 、四国地方整備局）



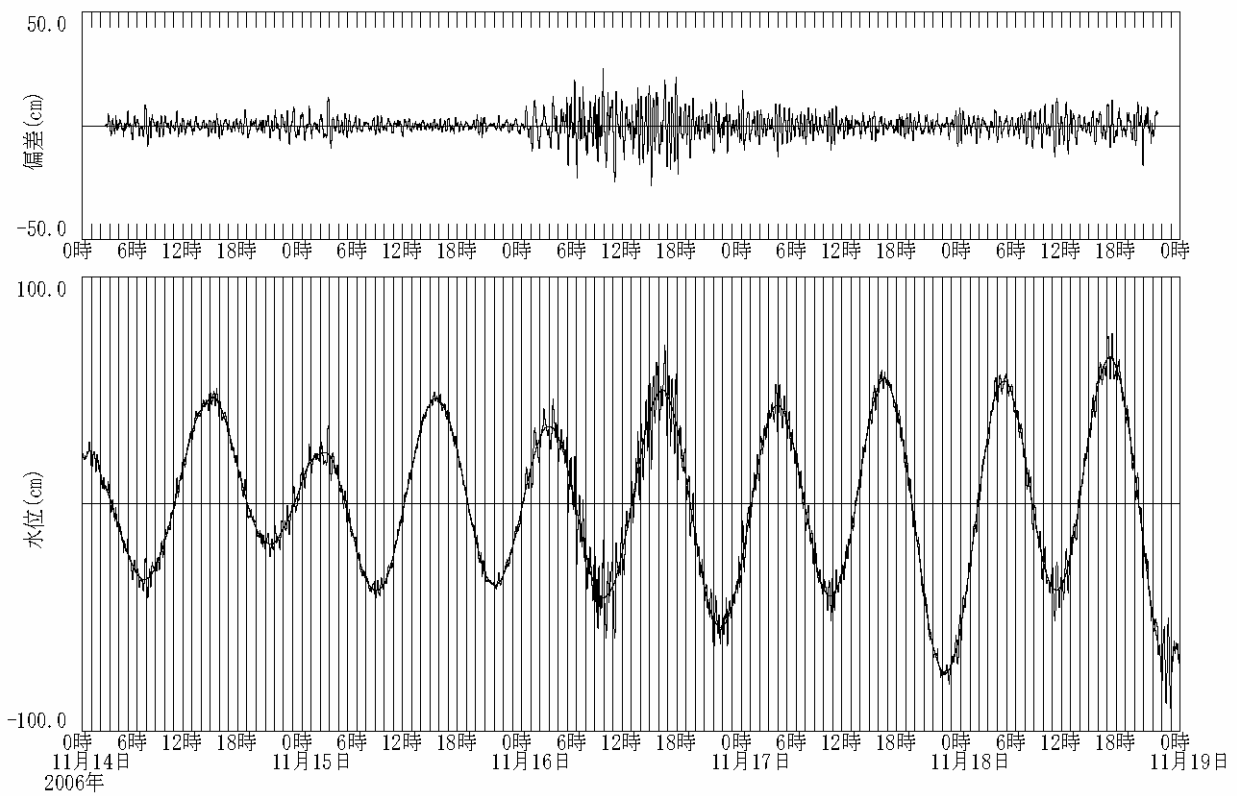
付図A-46 潮位変動除去前後の津波波形記録（高知：海象計、 $h=24.1\text{m}$ 、四国地方整備局）



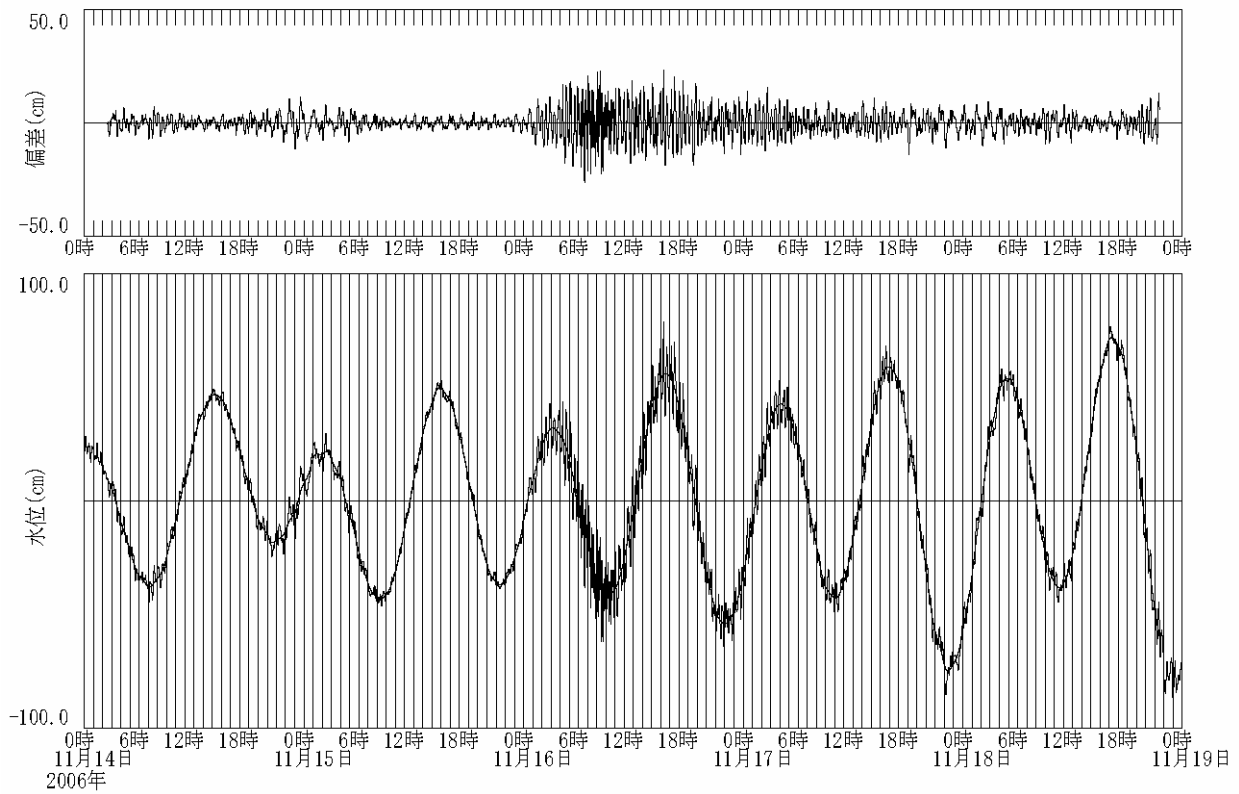
付図A-47 潮位変動除去前後の津波波形記録（上川口：波高計、 $h=27.9\text{m}$ 、四国地方整備局）



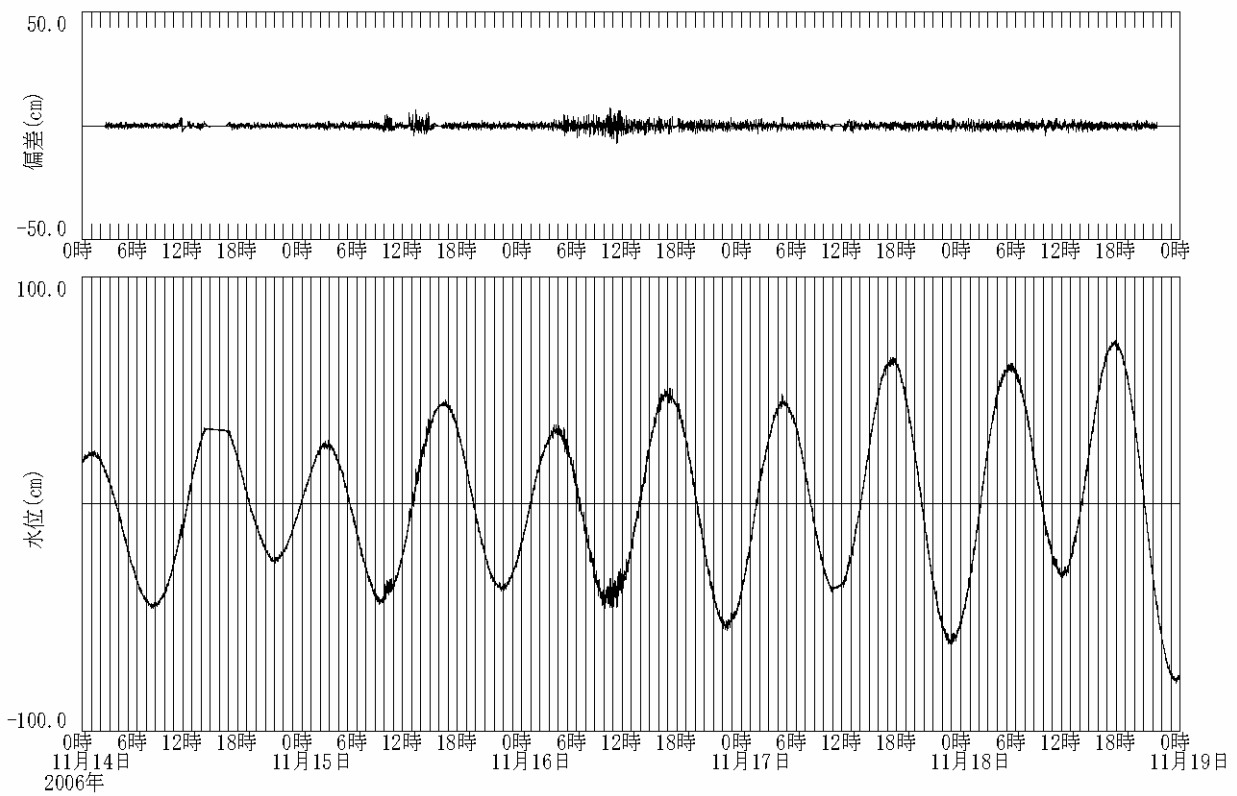
付図A-48 潮位変動除去前後の津波波形記録（細島：海象計、 $h=48.3\text{m}$ 、九州地方整備局）



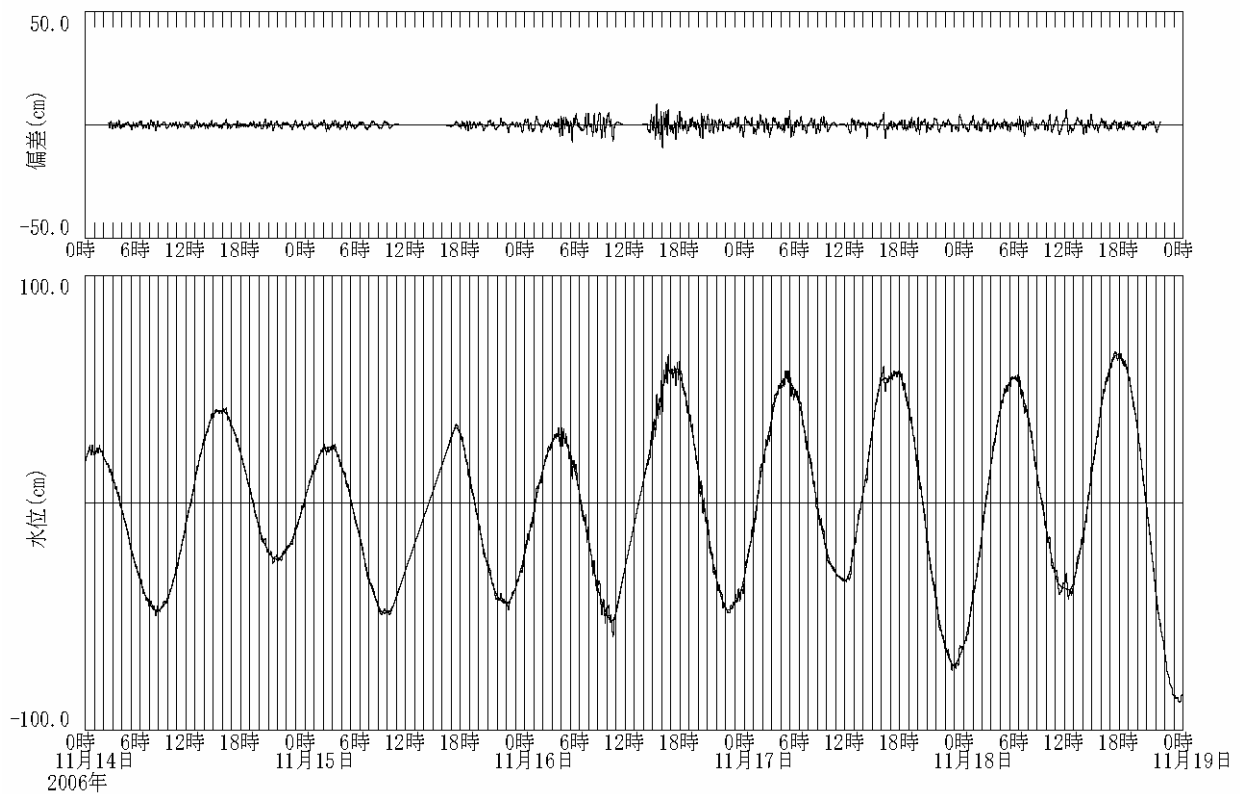
付図A-49 潮位変動除去前後の津波波形記録（宮崎：フース、九州地方整備局）



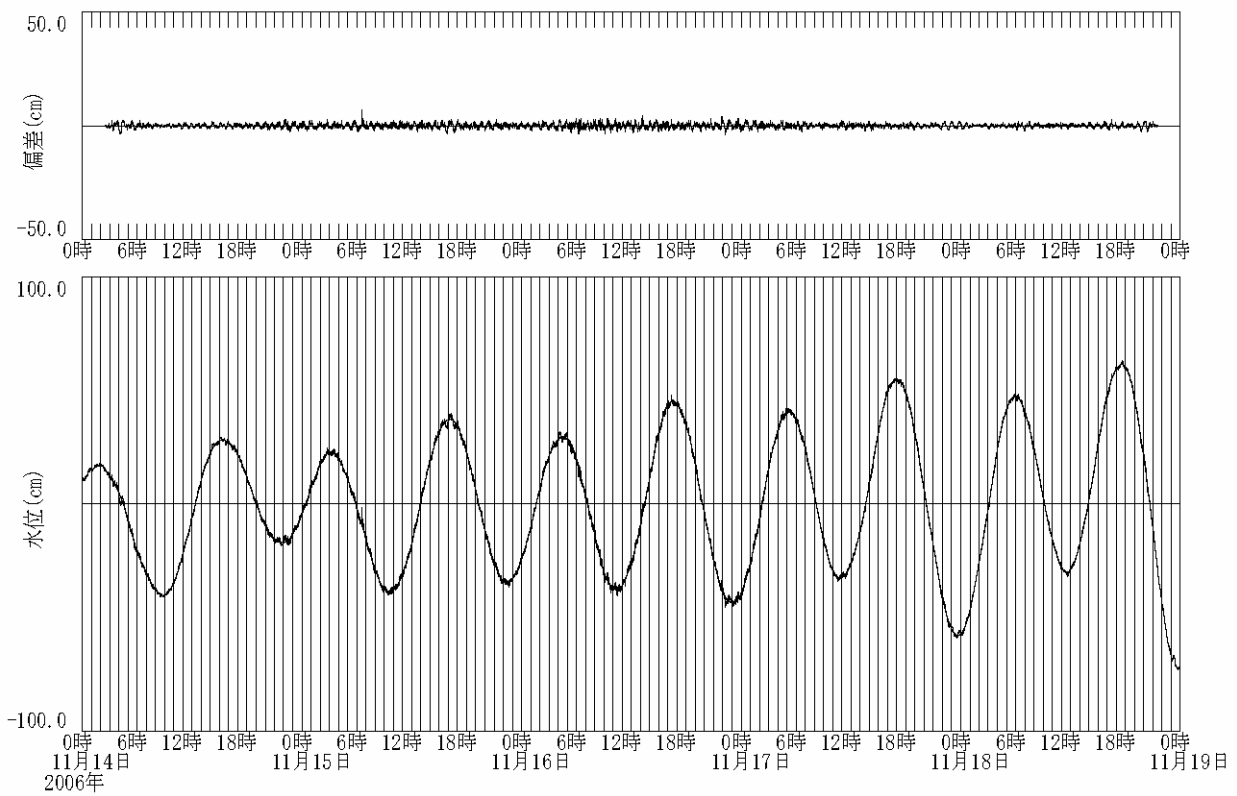
付図A-50 潮位変動除去前後の津波波形記録（志布志湾：フース、九州地方整備局）



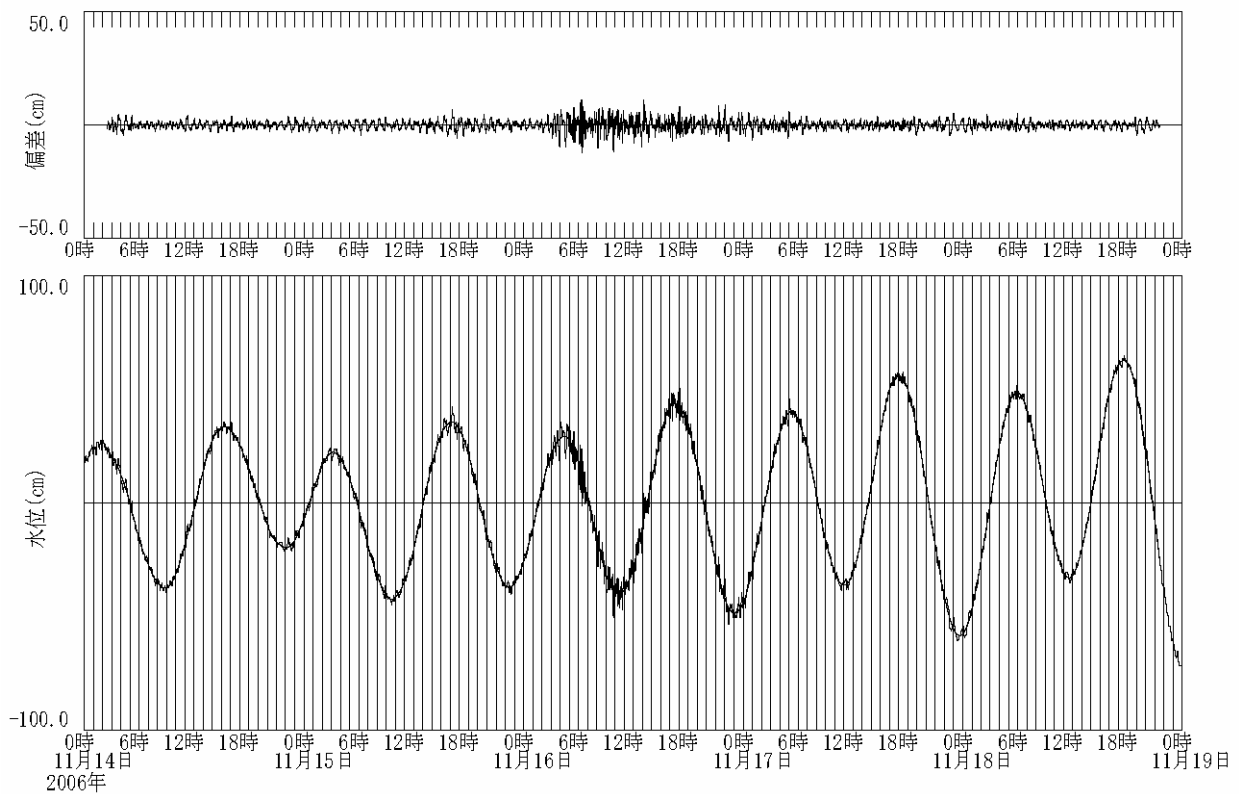
付図A-51 潮位変動除去前後の津波波形記録（中城：海象計、h=39.6m、沖縄総合事務局）



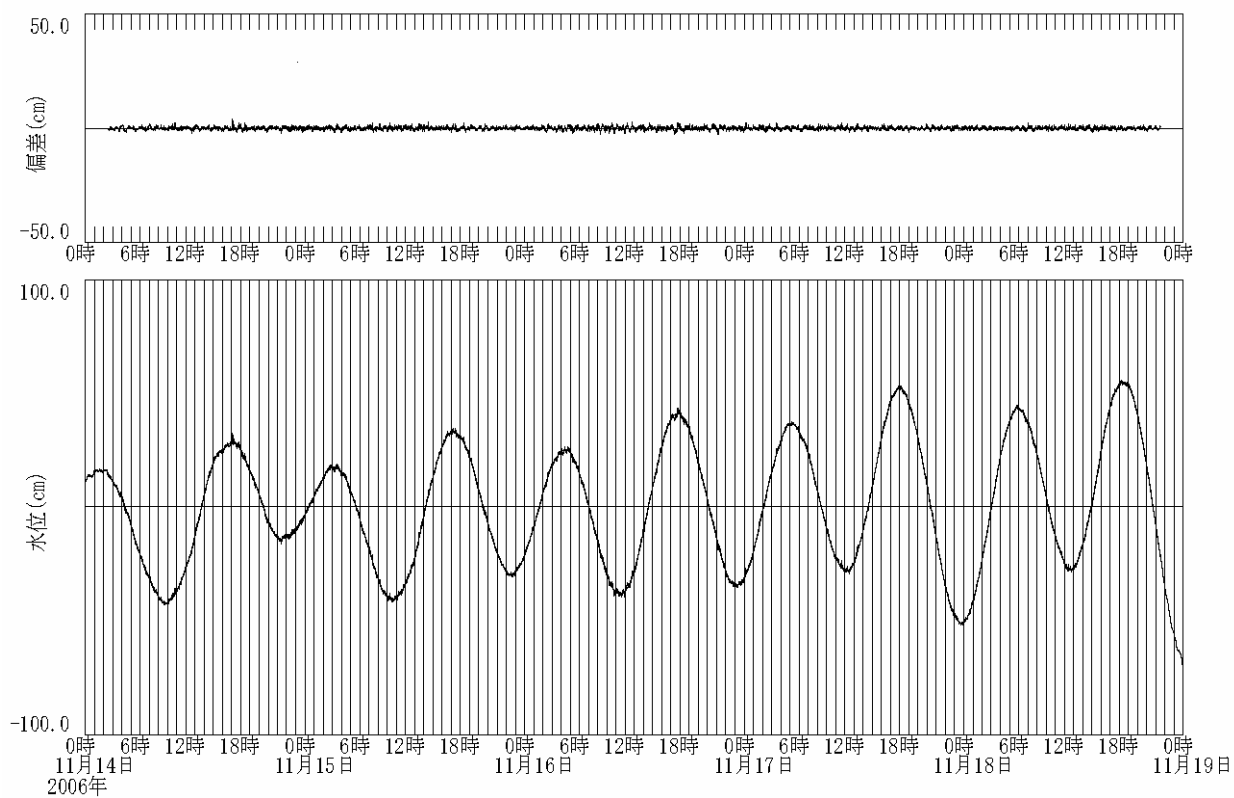
付図A-52 潮位変動除去前後の津波波形記録（中城：フース、沖縄総合事務局）



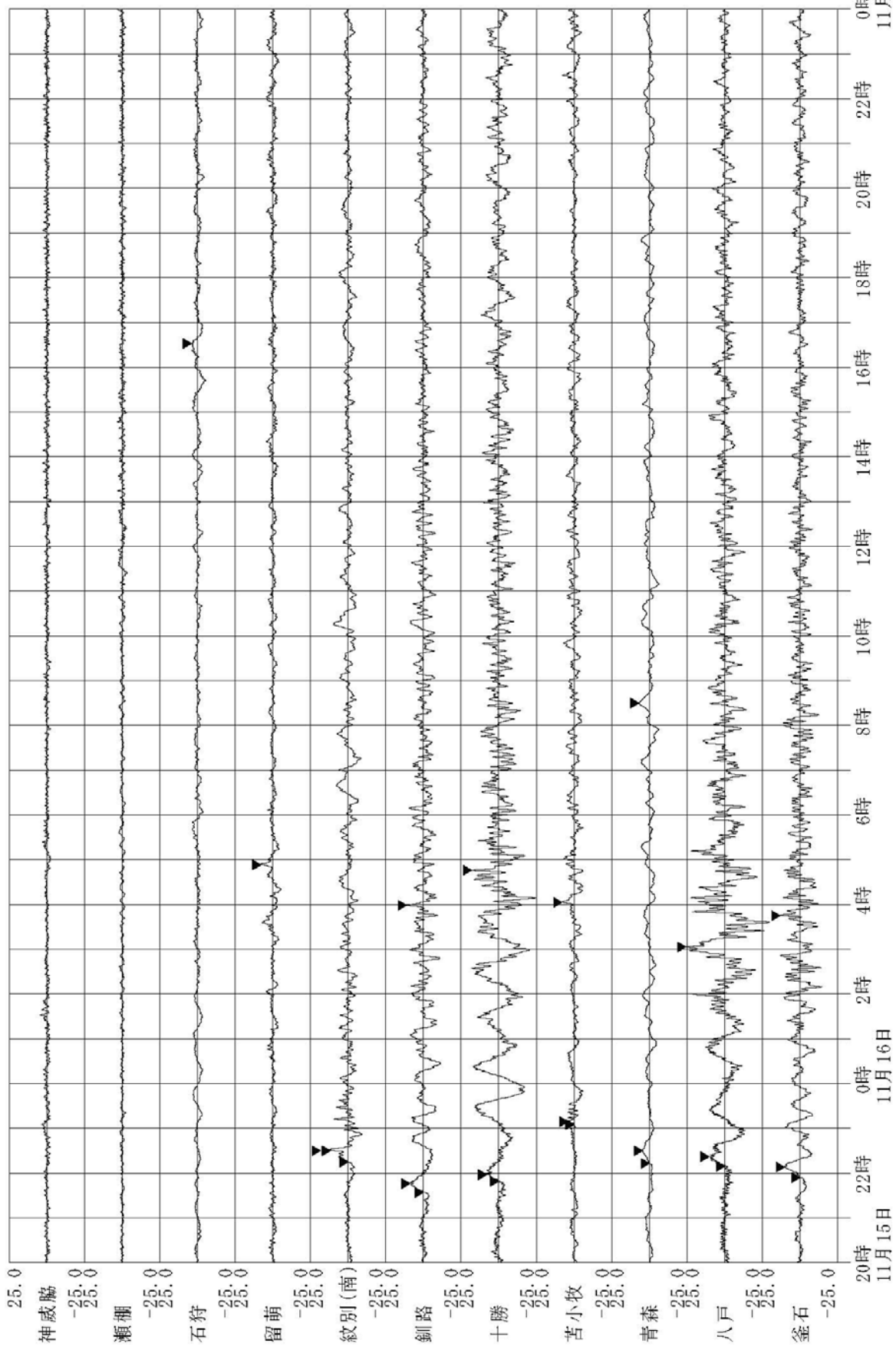
付図A-53 潮位変動除去前後の津波波形記録（平良：海象計、h=44.1m、沖縄総合事務局）



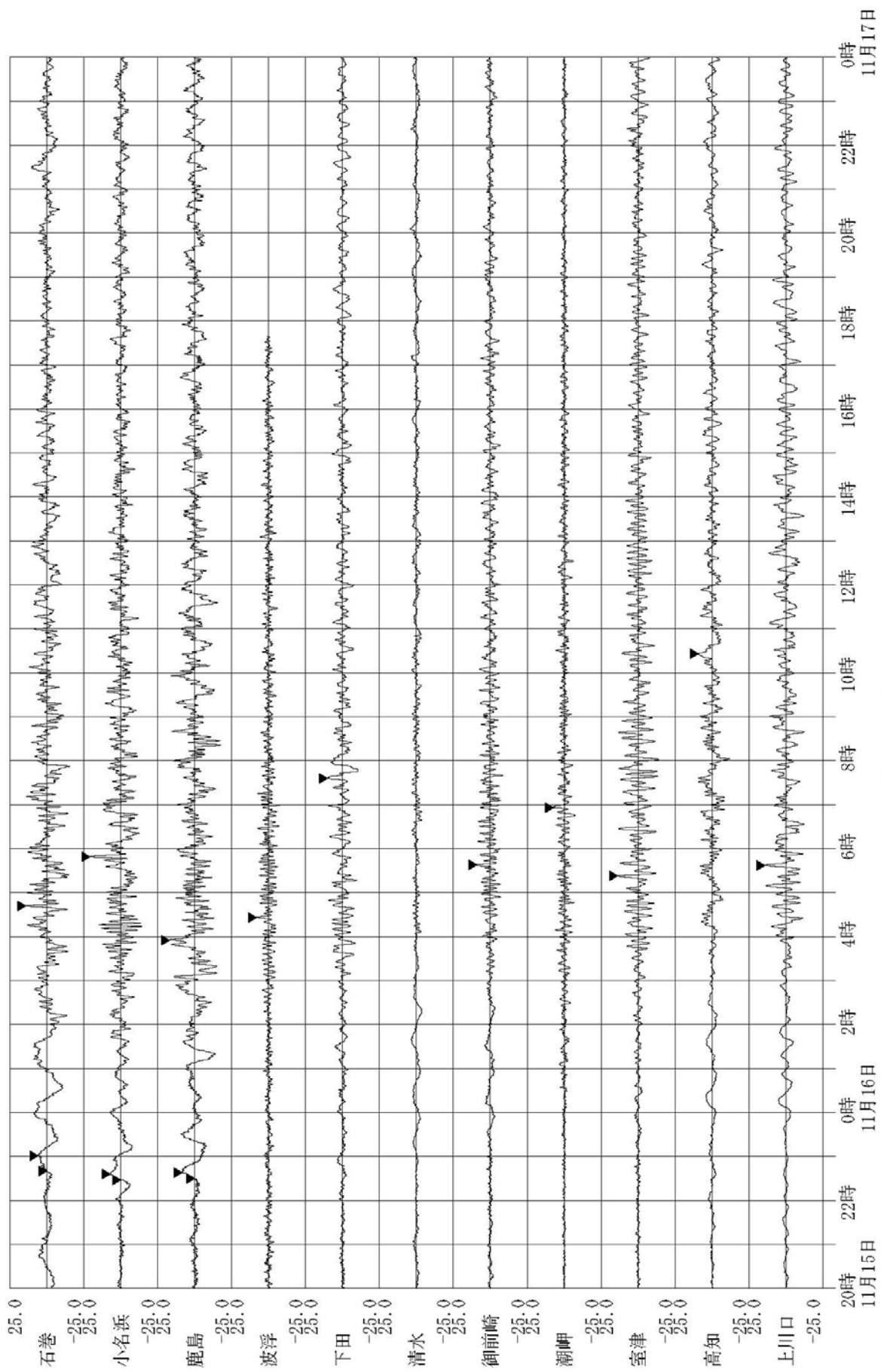
付図A-54 潮位変動除去前後の津波波形記録（平良：フース、沖縄総合事務局）



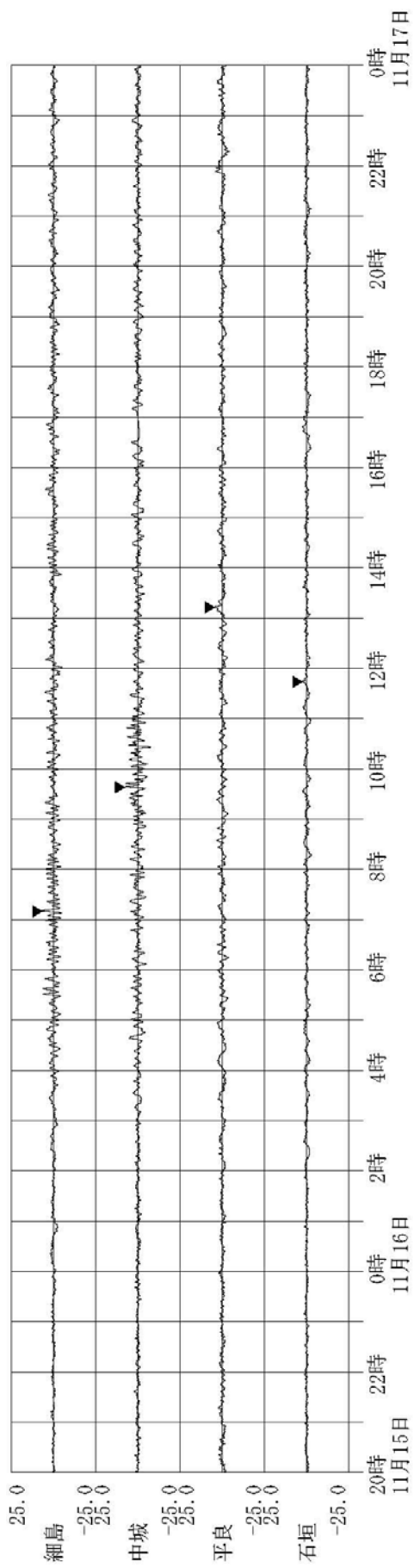
付図A-55 潮位変動除去前後の津波波形記録（石垣沖：海象計、h=39.8m、沖縄総合事務局）



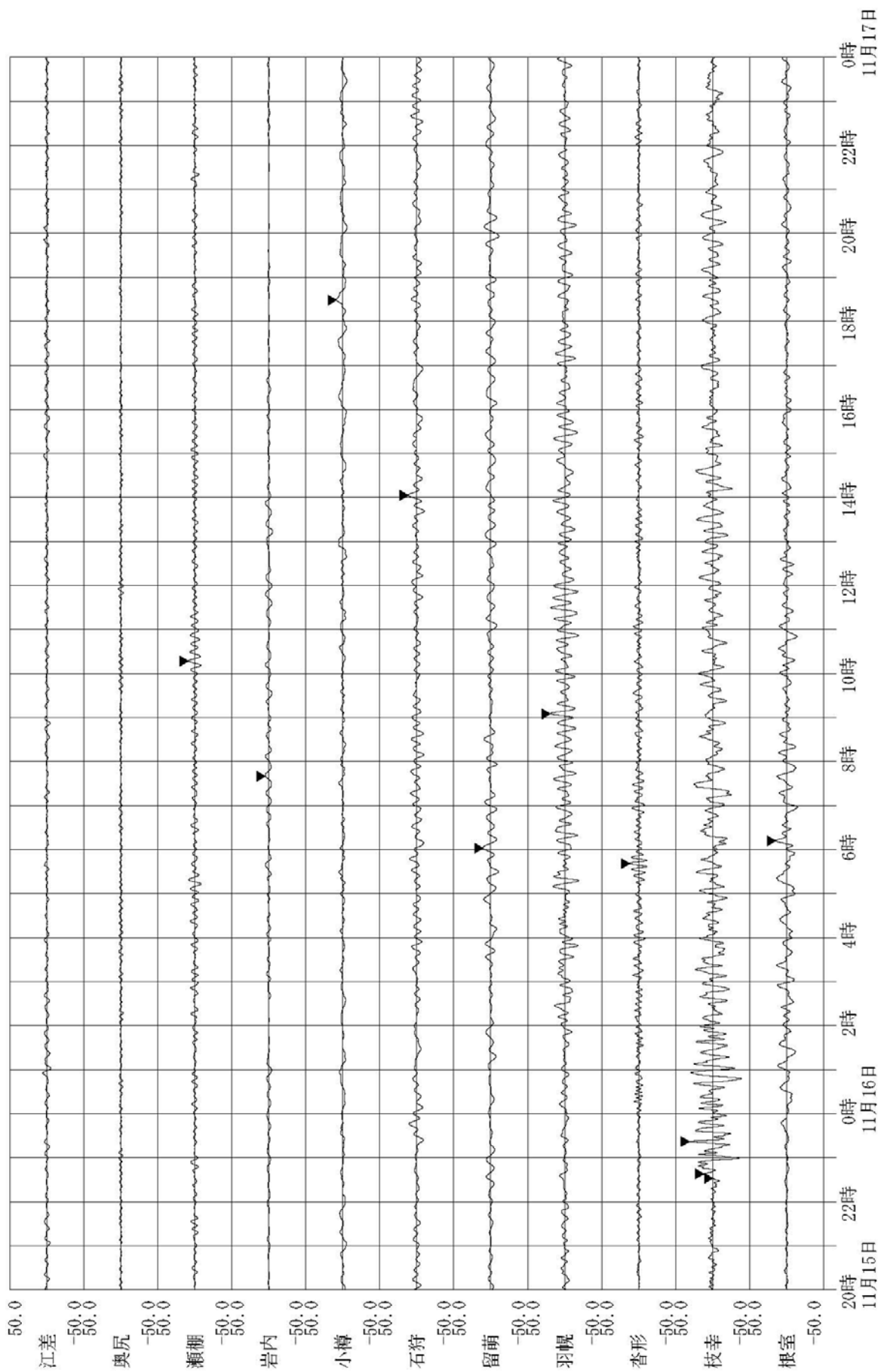
付図B-1 津波波形 (沖合波浪計)



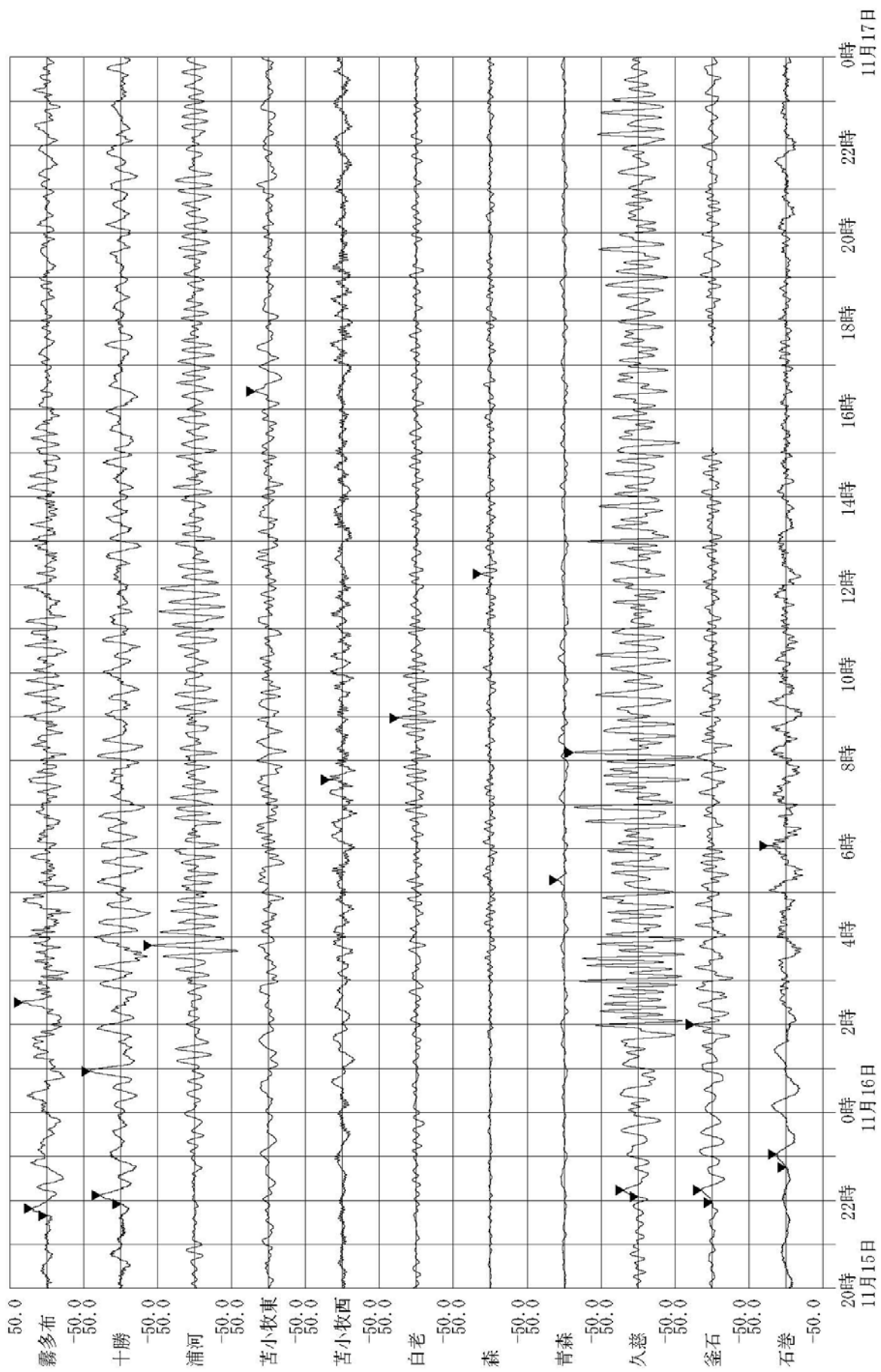
付図B-2 津波波形(沖合波浪計)



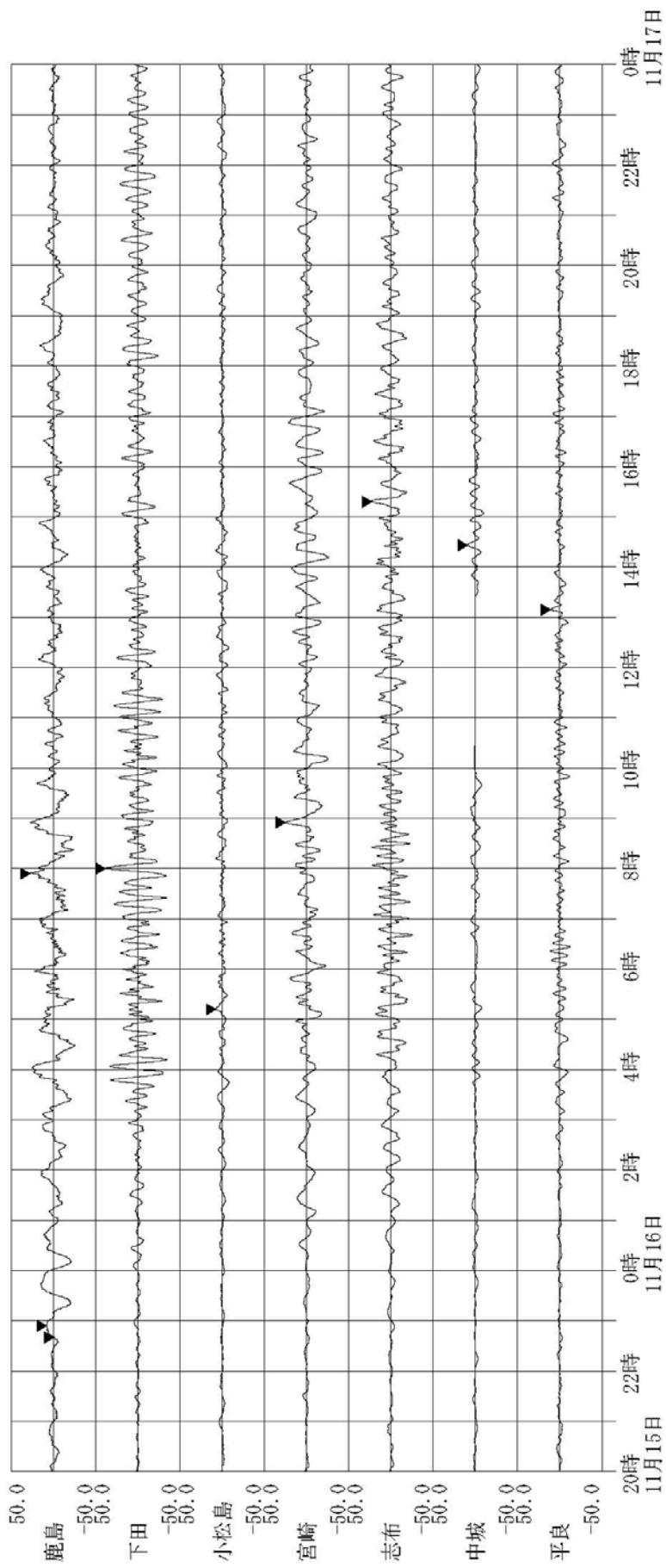
付図B-3 津波波形(沖合波浪計)



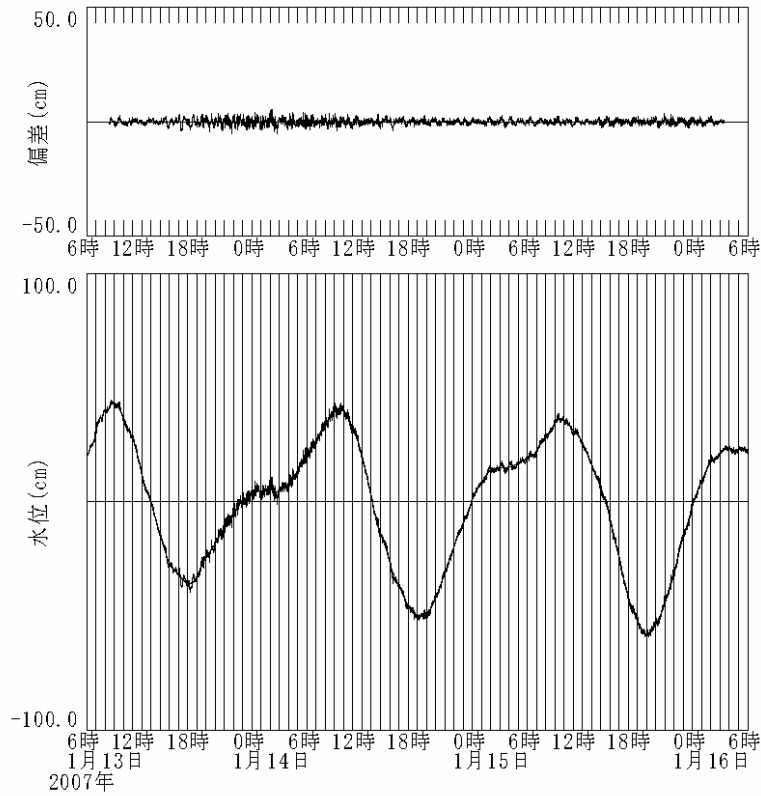
付図C-1 津波波形(港内検潮所)



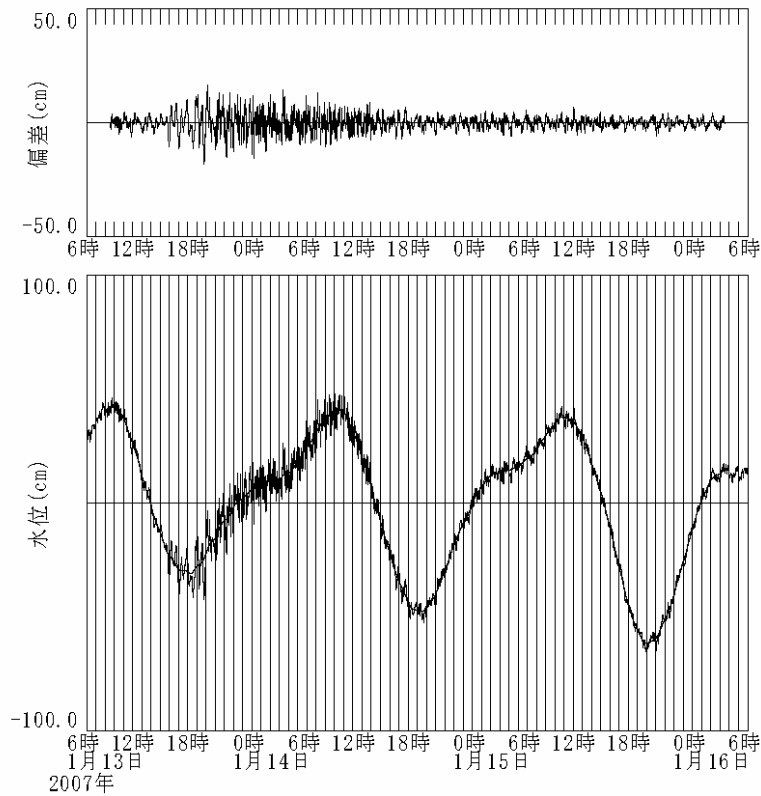
付図C-2 津波波形(港内検潮所)



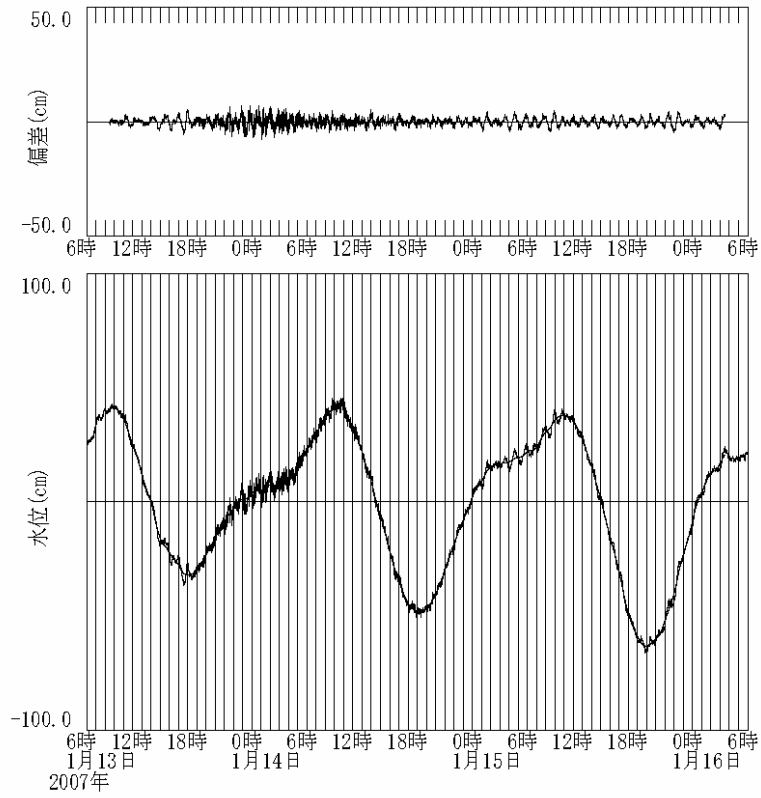
付図C-3 津波波形（港内検潮所）



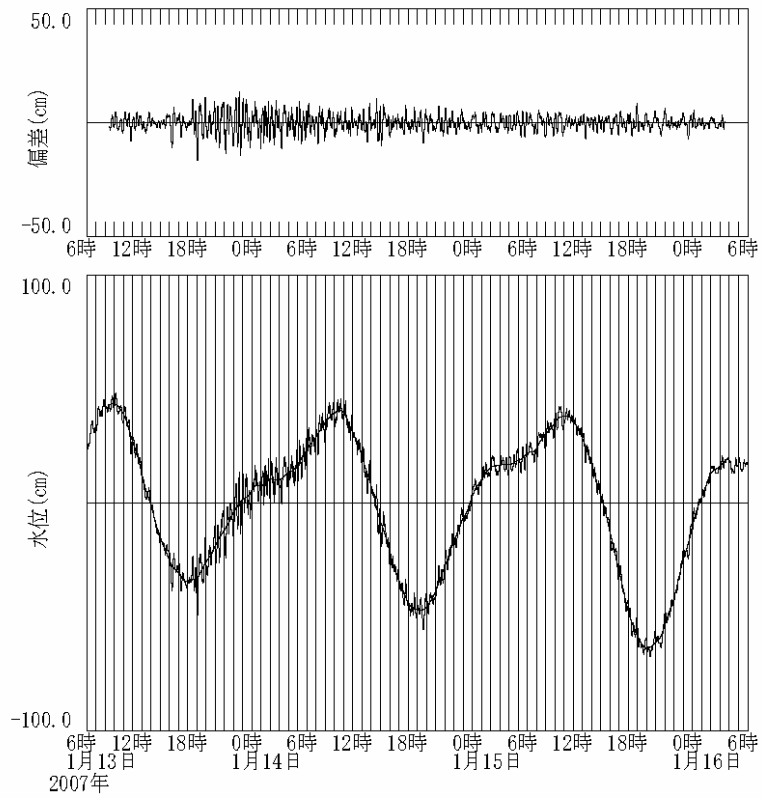
付図 D-1 潮位変動除去前後の津波波形記録（釧路：海象計、h=50.1m、北海道開発局）



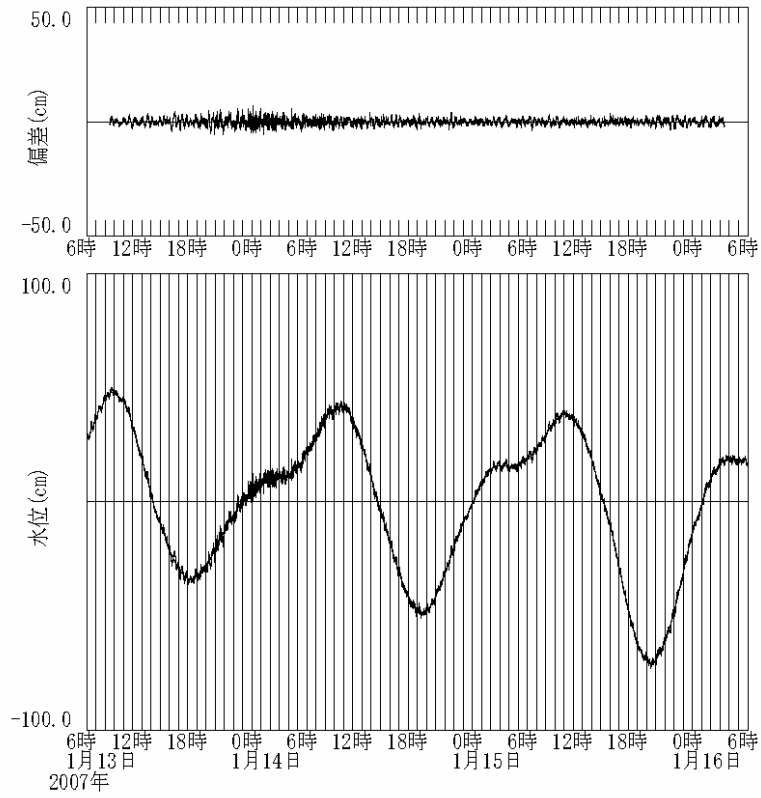
付図 D-2 潮位変動除去前後の津波波形記録（霧多布：空中発射、北海道開発局）



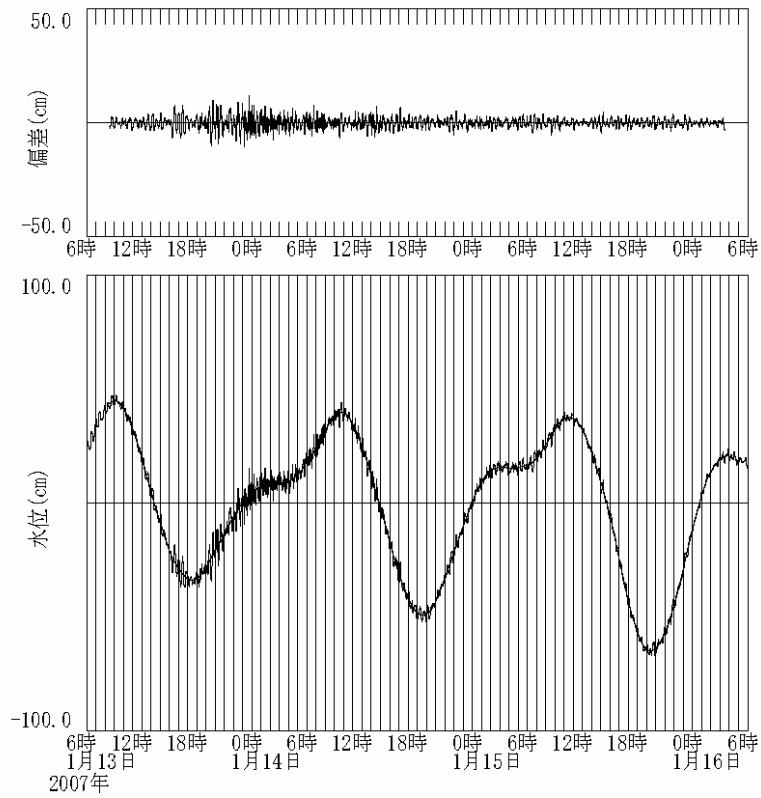
付図D-3 潮位変動除去前後の津波波形記録（十勝港沖：海象計、h=23.0m、北海道開発局）



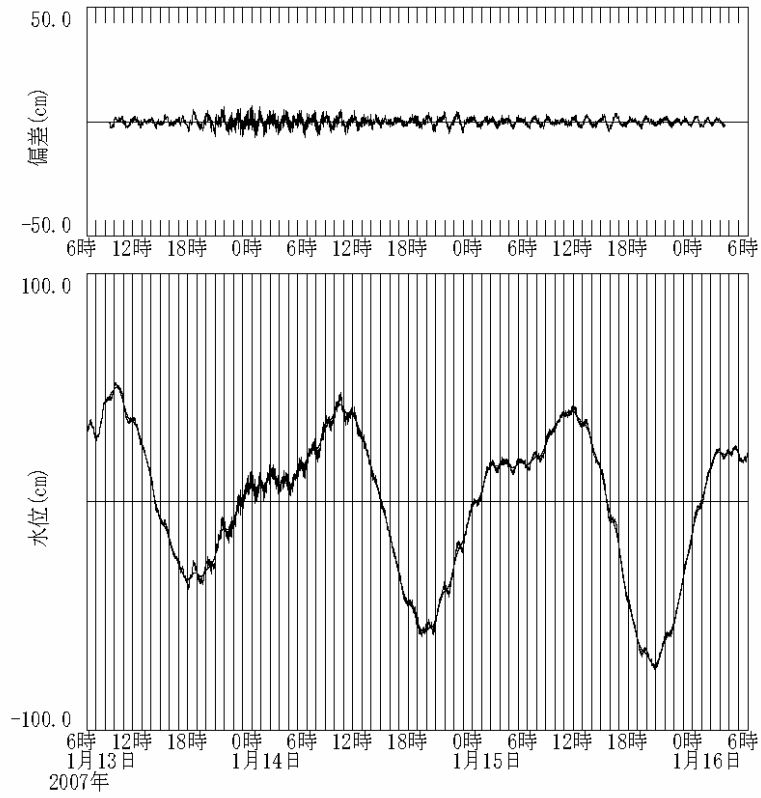
付図D-4 潮位変動除去前後の津波波形記録（十勝：フース、北海道開発局）



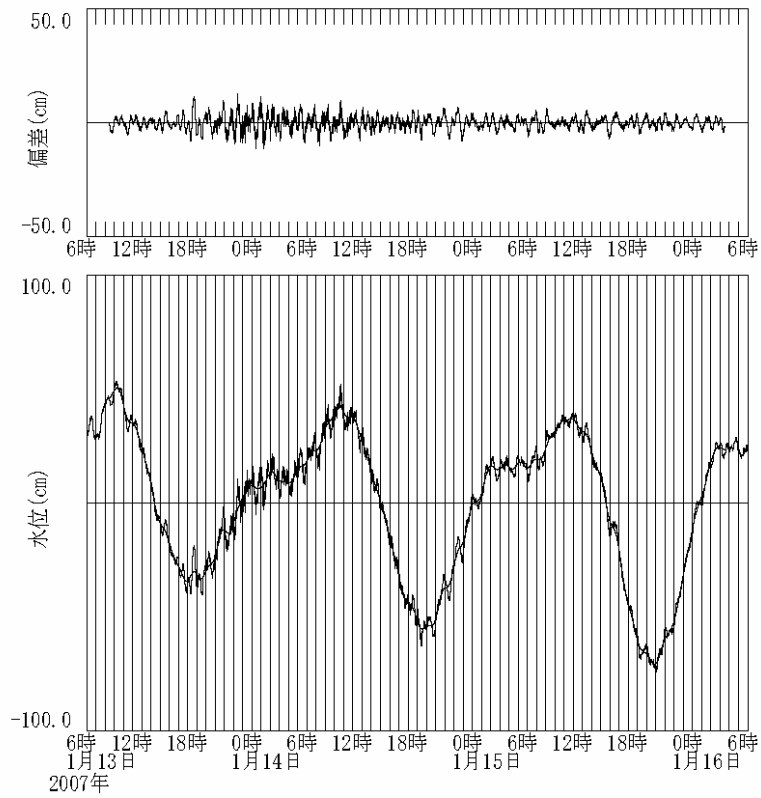
付図D-5 潮位変動除去前後の津波波形記録（釜石港沖：波高計、 $h=49.8\text{m}$ 、東北地方整備局）



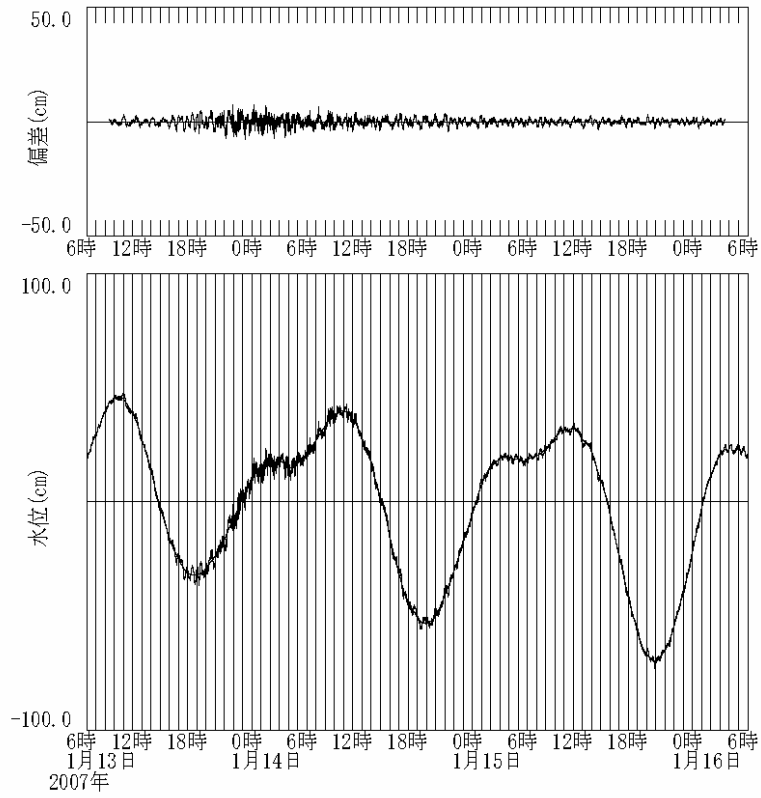
付図D-6 潮位変動除去前後の津波波形記録（釜石：フース、海上保安庁）



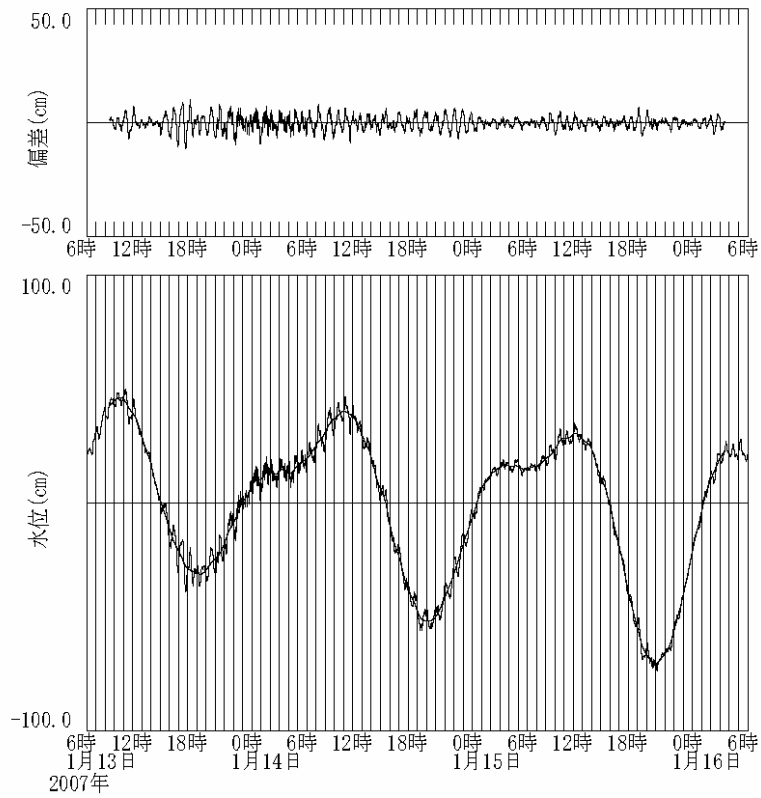
付図D-7 潮位変動除去前後の津波波形記録（石巻港沖：海象計、h=20.8m、東北地方整備局）



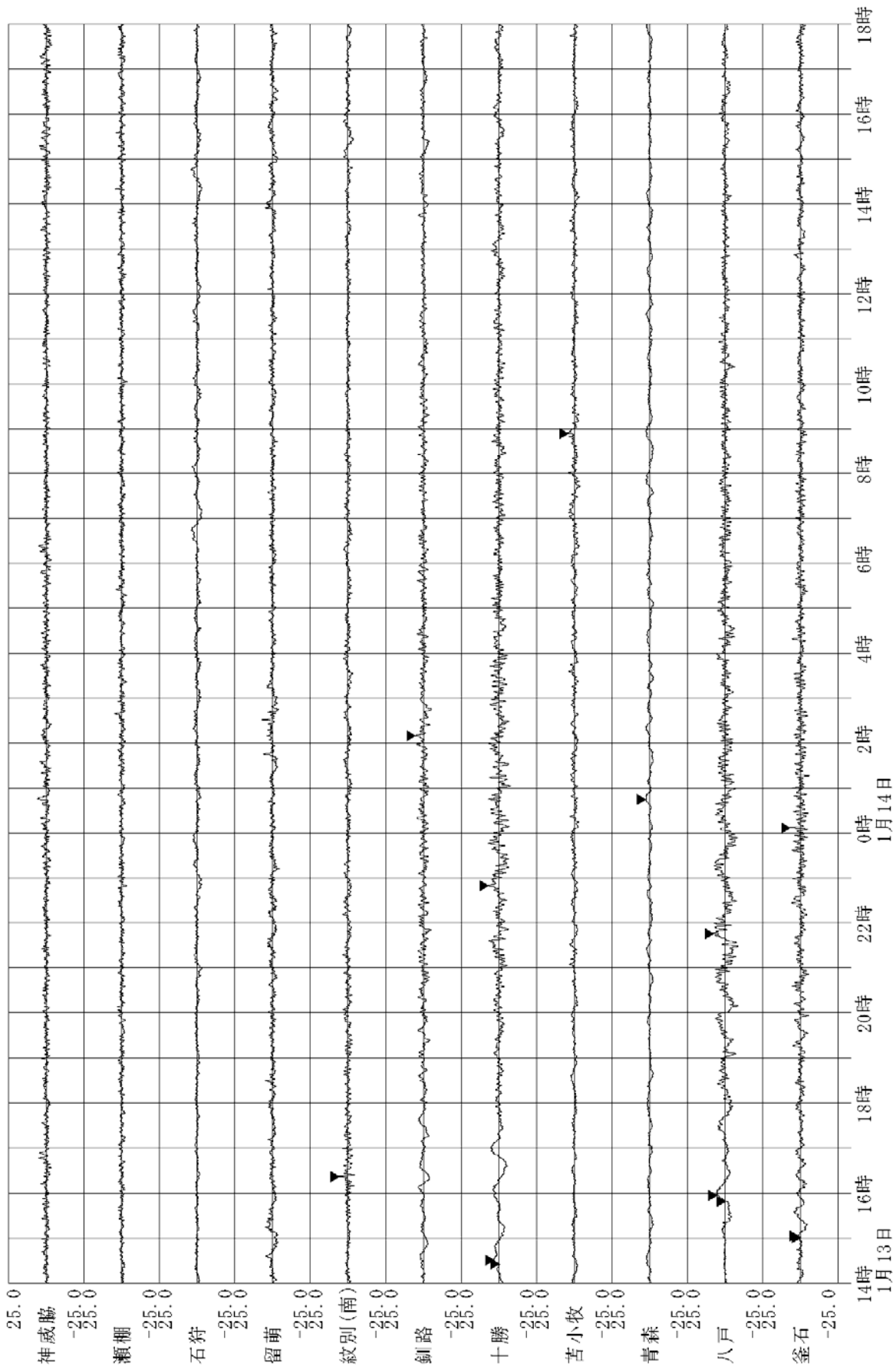
付図D-8 潮位変動除去前後の津波波形記録（石巻：フース、東北地方整備局）



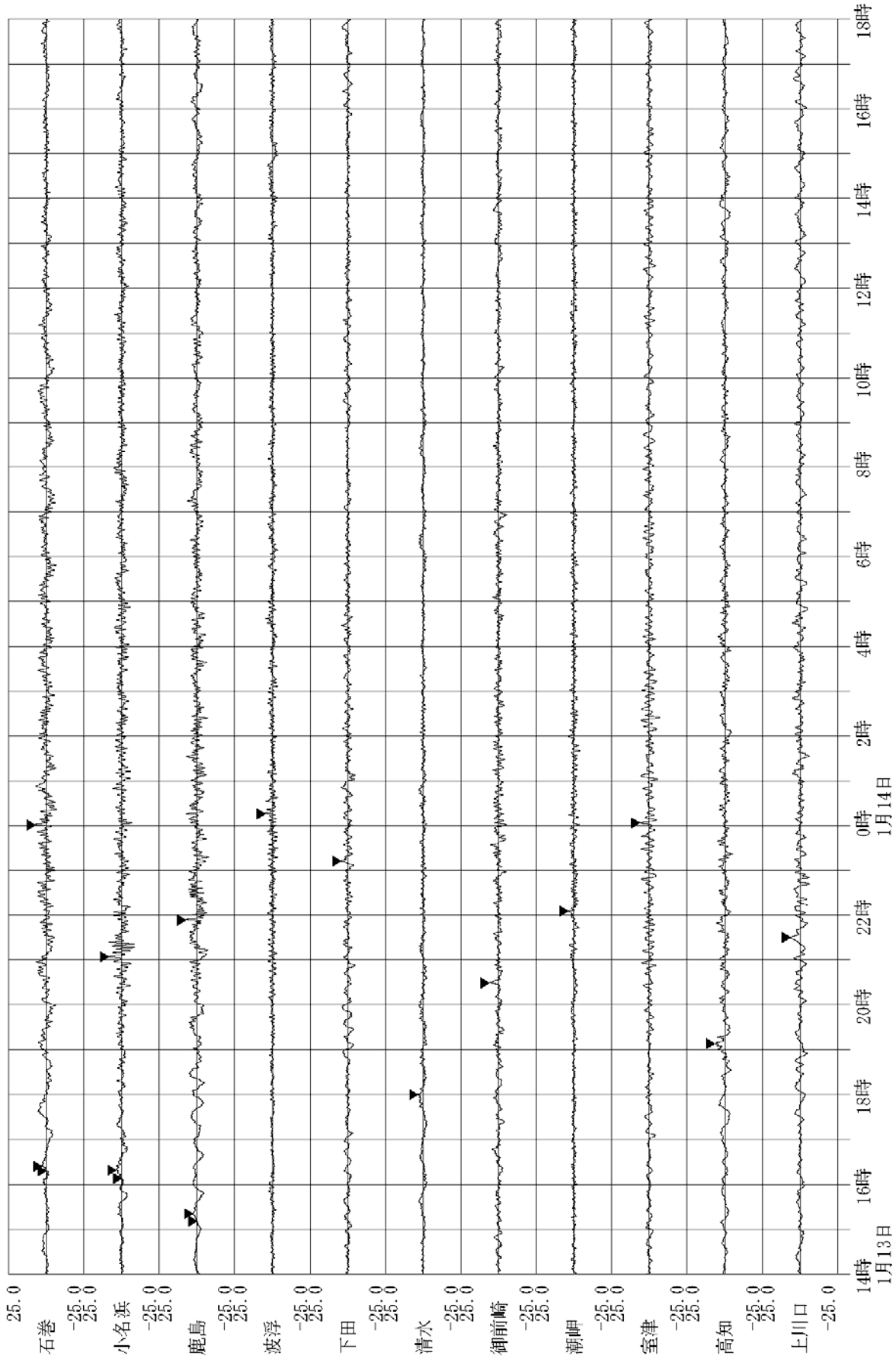
付図D-9 潮位変動除去前後の津波波形記録（鹿島：波高計、 $h=24.0\text{m}$ 、関東地方整備局）

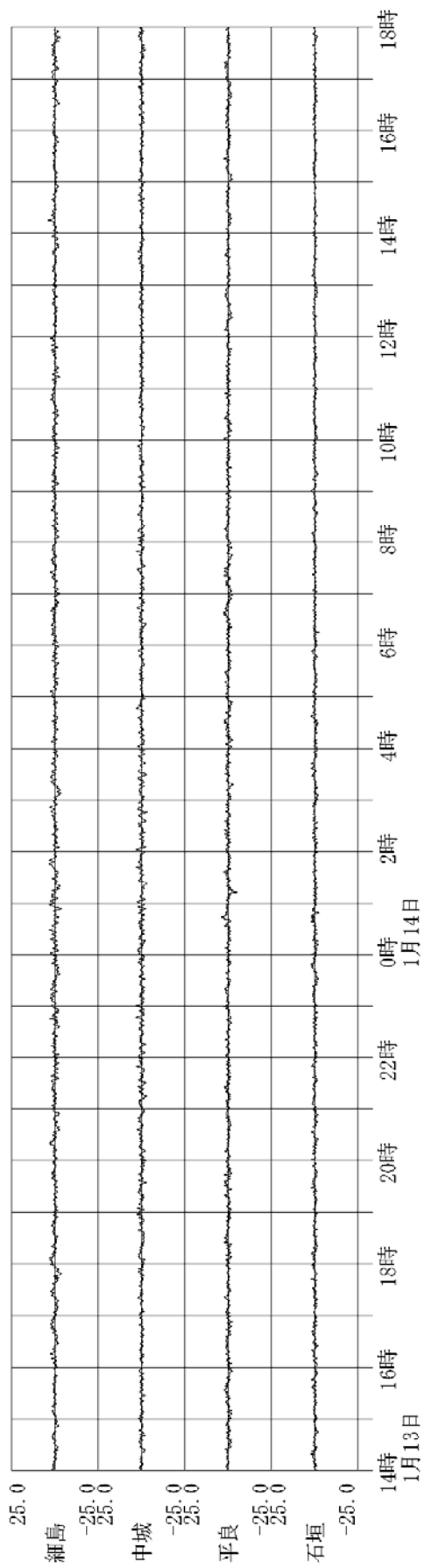


付図D-10 潮位変動除去前後の津波波形記録（鹿島：フース、関東地方整備局）

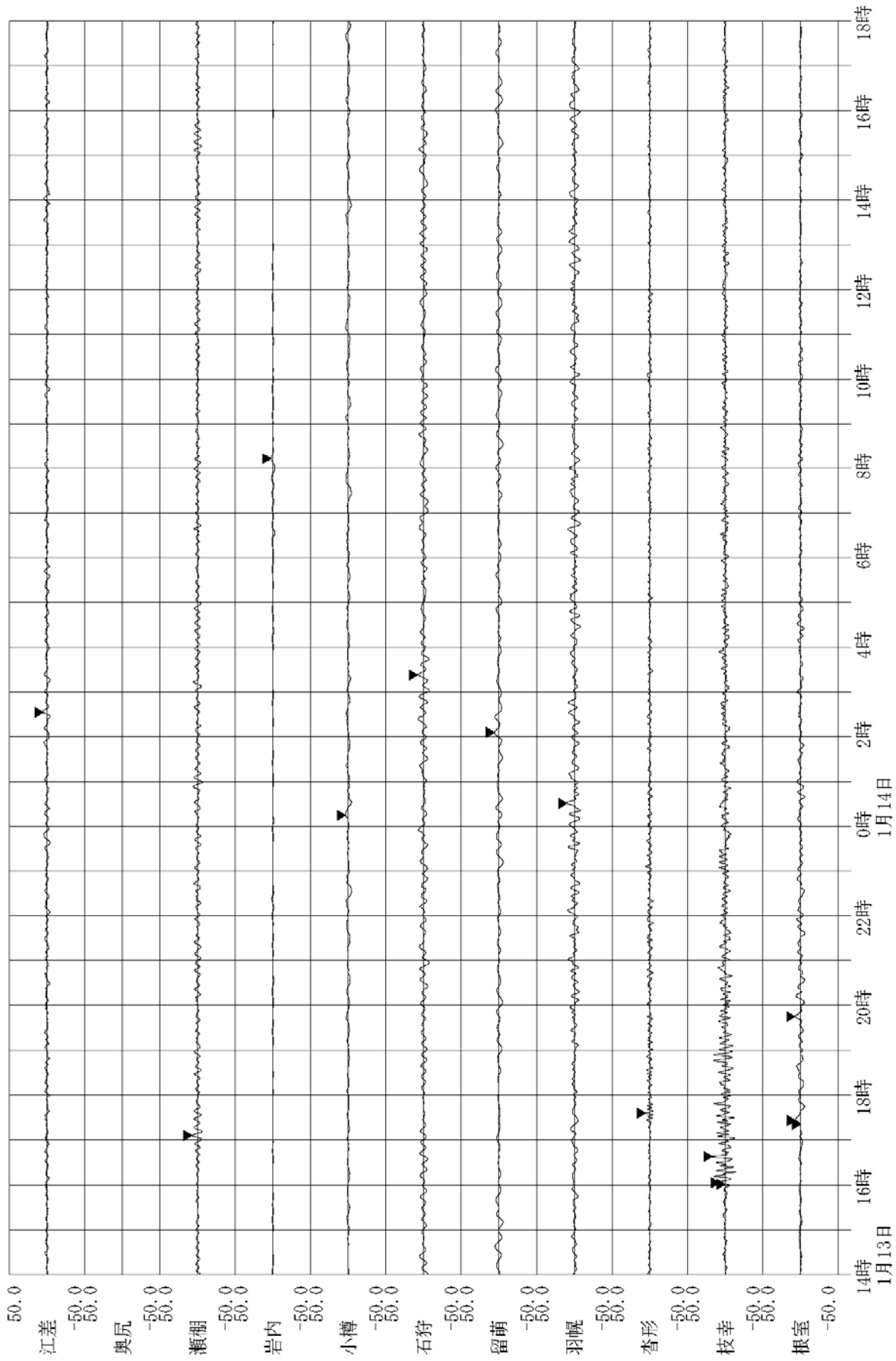


付図E-1 津波波形（沖合波浪計）

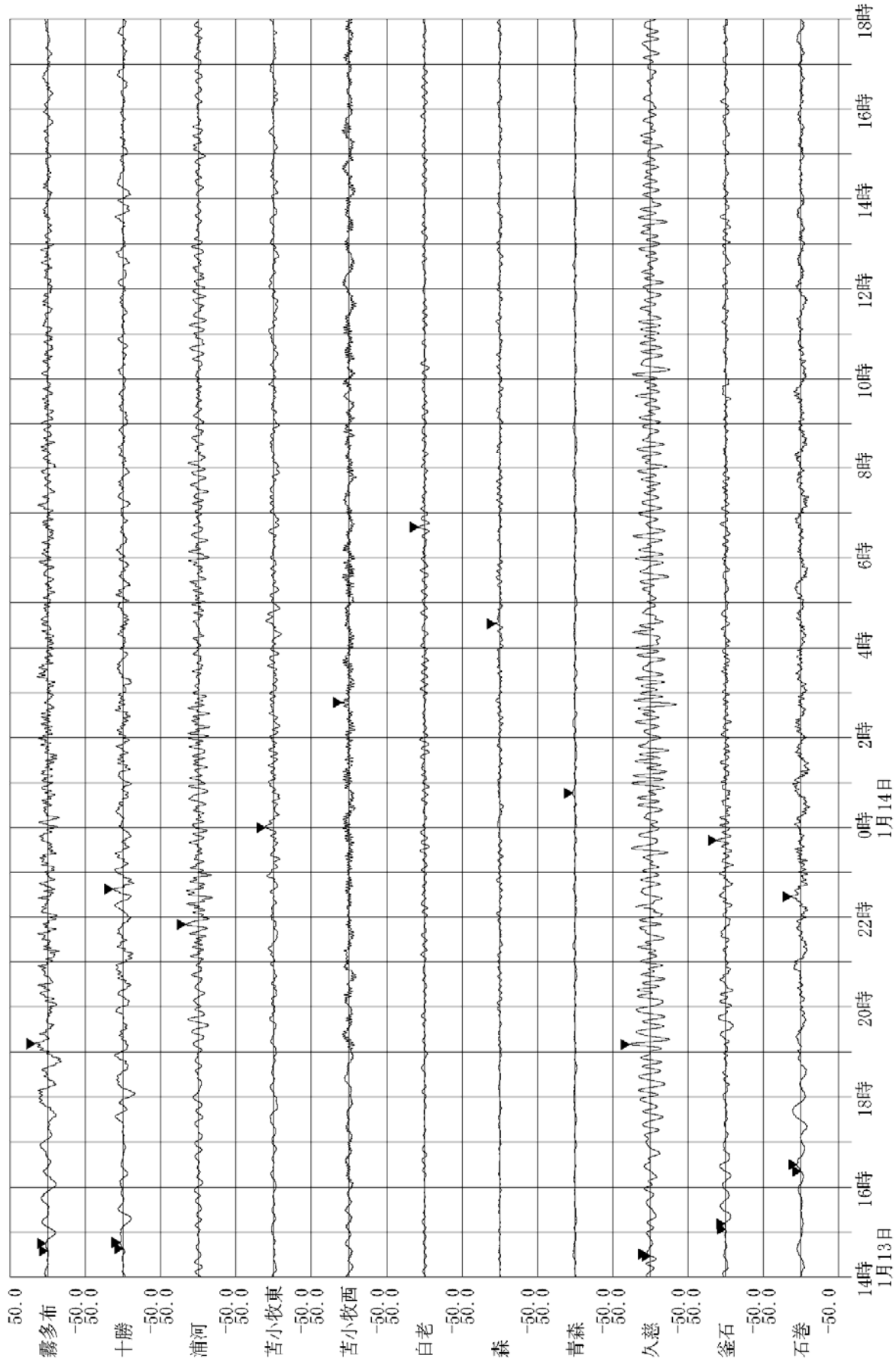




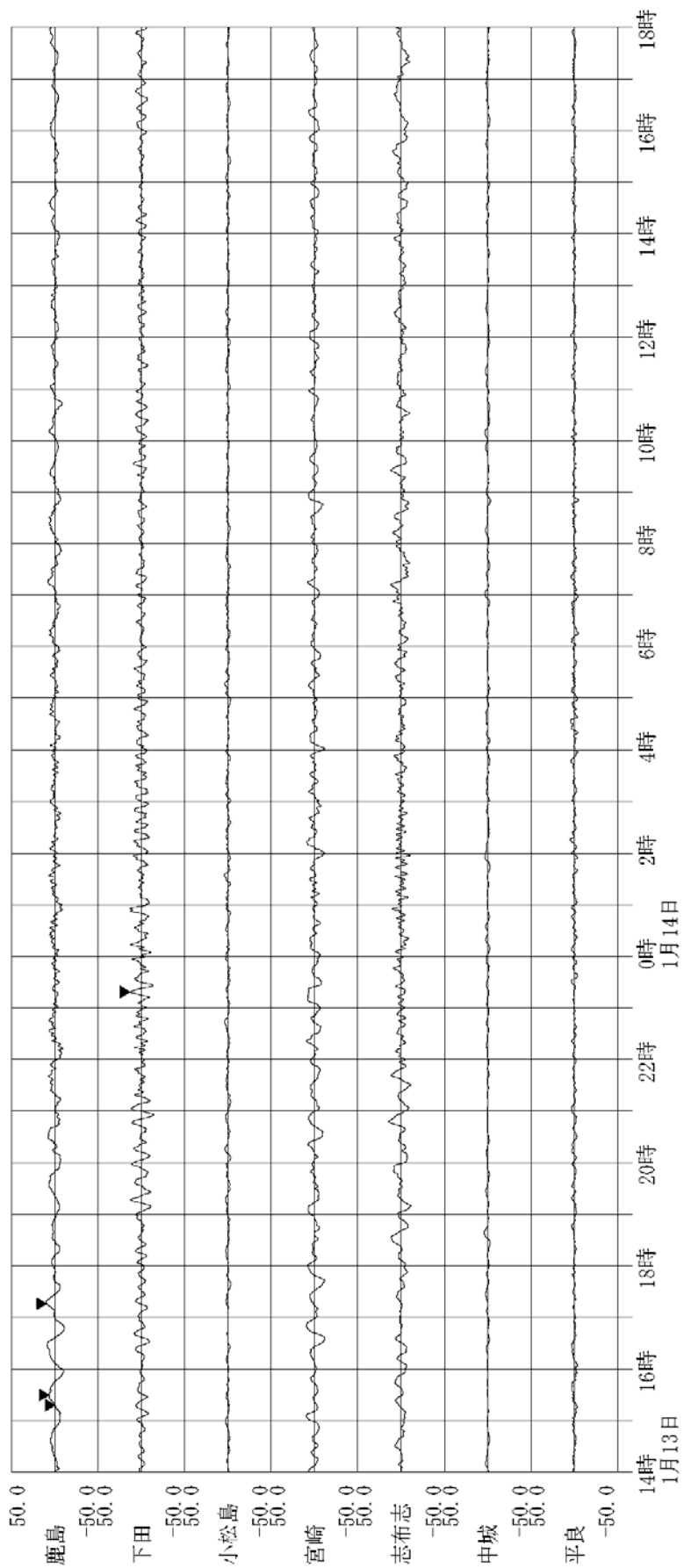
付図 E-3 津波波形（沖合波浪計）



付図 F-1 津波波形 (港内検潮所)



付図F-2 津波波形（港内検潮所）



付図F-3 津波波形（港内検潮所）

付録G 2007年津波のゼロアップクロス解析結果

観測地点		到達 時間	第1波		最大偏差波		最大波			港内/沖合増幅率				
港名	観測機器		偏差	時刻	No.	偏差 (cm)	時刻	No.	波高 (cm)	周期 (分)	時刻	第1波 偏差	最大 偏差	最大 波
江差	フース	-	-	-	-	4.9	2:33	-	8.2	20	13:59			
瀬棚	フース	-	-	-	-	7.4	17:06	-	13.6	11	17:03			
岩内	フース	-	-	-	-	2.3	8:13	-	4.3	26	7:41			
小樽	フース	-	-	-	-	3.8	0:15	-	8.3	37	0:08			
石狩新港	フース	-	-	-	-	8.1	3:23	-	13.4	17	2:51			
留萌	フース	-	-	-	-	5.9	2:06	-	9.1	48	2:20			
羽幌	フース	-	-	-	-	9.9	0:31	-	16.6	19	6:32			
沓形	フース	-	-	-	-	5.4	17:36	-	9.7	4	17:35			
枝幸	フース	16:01	7.5	16:03	7	17.1	16:38	26	24.8	8	18:52			
紋別(南)港沖	海象計	-	-	-	-	6	16:22	-	10.6	9	16:16			
根室	フース	17:21	6.5	17:26	8	7.1	19:45	8	12.5	27	19:41			
霧多布	空中発射	14:35	2.7	14:45	9	16.7	19:11	34	27.5	12	0:04			
釧路港沖	海象計	-	-	-	-	5.5	2:10	-	7.8	25	2:28			
十勝港沖	海象計	14:26	3.4	14:31	54	7.2	22:50	42	11.1	15	21:24			
十勝	フース	14:38	3.8	14:46	20	13.5	22:38	20	27.5	26	22:31	1.12	1.88	2.48
浦河	フース	-	-	-	-	17.1	21:50	-	35	14	22:15			
苫小牧港沖	海象計	-	-	-	-	4.3	8:54	-	5.6	15	8:52			
苫小牧東	フース	-	-	-	-	11.4	0:00	-	18.5	30	4:29	-	2.65	3.30
苫小牧西	フース	-	-	-	-	9.8	2:47	-	16.1	7	5:29	-	2.28	2.88
白老	フース	-	-	-	-	7.8	6:41	-	14.5	12	6:38	-	1.81	2.59
森	フース	-	-	-	-	5.9	4:32	-	7.7	10	23:14			
青森港沖	波高計	-	-	-	-	2.8	0:45	-	4.7	40	11:20			
青森	フース	-	-	-	-	3.3	0:46	-	5.3	23	2:13	-	1.18	1.13
八戸港沖	波高計	15:49	5.7	15:57	31	7.7	21:45	20	15.2	46	19:35			
久慈	フース	14:28	4.8	14:31	16	28.1	19:10	16	53.5	14	19:07			
釜石港沖	波高計	15:01	1.8	15:03	65	7.1	0:07	23	10	23	19:14			
釜石	フース	15:04	1.3	15:11	35	12.1	23:43	31	18.8	21	22:52	0.72	1.70	1.88
石巻港沖	海象計	16:18	2.8	16:24	43	7.2	0:01	30	11.6	13	22:42			
石巻	フース	16:21	5.5	16:30	19	12.9	22:28	19	21.6	41	22:19	1.96	1.79	1.86
小名浜港沖	海象計	16:08	3.6	16:19	30	8.6	21:04	33	15.2	4	21:18			
鹿島港沖	波高計	15:11	2.7	15:21	23	7.5	21:53	23	12.1	7	21:53			
鹿島	フース	15:18	6.8	15:30	3	10	17:16	2	20.4	53	16:07	2.52	1.33	1.69
波浮港沖	波高計	-	-	-	-	4.8	24:16	-	8.3	7	0:31			
下田港沖	波高計	-	-	-	-	4.6	23:13	-	9.7	28	0:45			
下田	フース	-	-	-	-	13.3	23:19	-	26.9	15	23:15	-	2.89	2.77
清水港沖	海象計	-	-	-	-	3.5	18:00	-	4.6	30	6:09			
御前崎港沖	海象計	-	-	-	-	6.2	20:29	-	8.3	12	23:51			
潮岬沖	海象計	-	-	-	-	3.7	22:05	-	6.1	9	23:55			
室津港沖	海象計	-	-	-	-	6.4	0:04	-	12.7	9	2:18			
高知港沖	海象計	-	-	-	-	6.7	19:08	-	10.1	42	18:55			
上川口港沖	波高計	-	-	-	-	6.4	21:30	-	11.3	36	21:20			

港湾空港技術研究所資料 No. 1162

2007. 6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 新高速印刷株式会社

Copyright © (2007) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。